

**UFRRJ**

**INSTITUTO DE FLORESTAS**

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**DISSERTAÇÃO**

**Indicadores Ambientais na Interface Solo-Serrapilheira e  
suas Interações em Fragmentos de Floresta Atlântica.**

**Rafael Nogueira Scoriza**

**2012**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E  
FLORESTAIS**

**INDICADORES AMBIENTAIS NA INTERFACE SOLO-  
SERRAPILHEIRA E SUAS INTERAÇÕES EM FRAGMENTOS DE  
FLORESTA ATLÂNTICA**

**RAFAEL NOGUEIRA SCORIZA**

*Sob orientação da Professora*  
**Eliane Maria Ribeiro da Silva**

*e Co-orientação da Doutora*  
**Maria Elizabeth Fernandes Correia**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Conservação da Natureza.

Seropédica, RJ  
Fevereiro, 2012

634.9565

S423i

T

Scoriza, Rafael Nogueira, 1987-  
Indicadores ambientais na  
interface solo-serrapilheira e suas  
interações em fragmentos de Floresta  
Atlântica / Rafael Nogueira Scoriza  
- 2012.

63 f.: il.

Orientador: Eliane Maria Ribeiro  
da Silva.

Dissertação (mestrado) -  
Universidade Federal Rural do Rio  
de Janeiro, Curso de Pós-Graduação  
em Ciências Ambientais e  
Florestais.

Bibliografia: f. 43-52.

1. Solos florestais - Teses. 2.  
Serapilheira - Aspectos ambientais -  
Teses. 3. Mata Atlântica - Teses.  
I. Silva, Eliane Maria Ribeiro da,  
1956-. II. Universidade Federal  
Rural do Rio de Janeiro. Curso de  
Pós-Graduação em Ciências Ambientais  
e Florestais. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Dissertação, desde que seja citada a fonte

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**RAFAEL NOGUEIRA SCORIZA**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de Concentração em Conservação da Natureza.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 16/02/2012

---

Eliane Maria Ribeiro da Silva. PhD. Embrapa Agrobiologia  
(Orientador)

---

Alexander Silva de Resende. Dr. Embrapa Agrobiologia

---

Acácio Geraldo de Carvalho. Prof. Dr. UFRRJ

## **AGRADECIMENTOS**

Aprendi recentemente que textos pequenos têm mais chances de serem lidos e, como quero que este seja, vou ser sucinto. Acredito que as pessoas que vou citar aqui já sabem que sou muito grato a elas e estas são as que mais acreditaram em mim nesta fase. Não citarei nomes, mas a pessoa citada se identificará ao ler. Inicialmente à pessoa que primeiro estendeu a mão para me ajudar quando eu vim fazer o mestrado. Todo o pessoal dos laboratórios que frequentei nestes tempos, do alojamento que moro e outros lugares que estive. À minha eterna orientadora, que mesmo não acompanhando meu trabalho, gravou na minha mente a base científica que tenho e incentivou a realizar meus sonhos. À pessoa que me mostrou a beleza da vida e está me ensinando a vivê-la, meu amorzinho.

## RESUMO

SCORIZA, Rafael Nogueira. **Indicadores ambientais na interface solo-serrapilheira e suas interações em fragmentos de Floresta Atlântica**. 2012. 52p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais, Conservação da Natureza). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

O trabalho foi desenvolvido em quatro fragmentos florestais com o objetivo de avaliar indicadores ambientais na interface solo-serrapilheira em fragmentos de Floresta Atlântica. O local selecionado está localizado no município de Itaboraí, RJ. Para coleta de dados (nas épocas seca e úmida) foram selecionados os fragmentos P1, P2, T1 e T2, sendo cada um dividido em terços superior, médio e inferior, em relação ao declive da encosta. Para coleta do estoque de serrapilheira foram coletadas três amostras em cada terço, utilizando uma sonda metálica de 0,0625 m<sup>2</sup>, sendo o material dividido nas frações folhas, ramos e cascas, material reprodutivo e restos. Para avaliação de fungos micorrízicos arbusculares foram coletadas seis amostras de solo na profundidade de 0-5 cm, sendo a amostra submetida à técnica de peneiramento úmido. As avaliações da atividade e diversidade de Collembola foram realizadas com armadilhas do tipo pitfall. Houve diferenças entre os fragmentos florestais em relação ao estoque de serrapilheira, porém apenas a fração restos apresentou diferença entre as épocas do ano. Foi encontrada maior concentração de macronutrientes na fração folhas, sendo esta correlacionada com as raízes finas encontradas na serrapilheira. A densidade de esporos permitiu diferenciar os fragmentos florestais, sendo menor a densidade na época úmida. Esta variável apresentou alta correlação com variáveis do ambiente. Na época seca houve maior riqueza de espécies. A atividade de Collembola foi mais expressiva na época seca, sendo possível diferenciar os fragmentos quando se consideram as subordens (Entomobryomorpha, Poduromorpha e Symphypleona). A serrapilheira mostrou-se um indicador chave neste estudo, pois foi capaz de evidenciar diferenças entre os fragmentos florestais.

## ABSTRACT

SCORIZA, Rafael Nogueira. **Environmental indicators at the interface soil-litter and their interactions in fragments of Atlantic Forest.** 2012. 52p. Dissertation (Master of Environmental Science and Forestry, Nature Conservation). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

The study was conducted in four forest fragments in order to assess environmental indicators in the soil-litter interface in fragments of Atlantic Forest. The selected site is located in Itaboraí, RJ. To collect the data (in the dry and wet) were selected fragments P1, P2, T1 and T2, each being divided into upper, middle and inferior in relation to the slope of the hillside. To collect the stock of litter were collected three samples in each third, using a metal probe of 0.0625 m<sup>2</sup>, the material was divided into leaves, branches and bark, reproductive material and debris. For assessment of mycorrhizal fungi were collected six soil samples at a depth of 0-5 cm, and the sample is subjected to wet sieving technique. The evaluations of the activity and diversity of Collembola were conducted with pitfall traps. Differences between forest fragments in relation to the stock of litter, but only a fraction remains significant differences between the seasons. Was a greater concentration of nutrients in leaf fraction, which is correlated with the fine roots found in the litter. The density of spores enabled the differentiation between forest fragments, and lower the density in the wet season. This variable was highly correlated with environmental variables. In the dry season there was a greater species richness. The activity of Collembola was most significant in the dry season, it is possible to distinguish between fragments when considering suborders (Entomobryomorpha, and Poduromorpha Symphypleona). Litter seems to be a key indicator in this study, it was able to show differences between forest fragments.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo Pressão-Estado-Impacto-Resposta de aplicação de indicadores ambientais, com exemplo para a biodiversidade do solo (In: Jeffery et al., 2010). .....	3
Figura 2. Esquema de escolha dos indicadores mais adequados. Principais características dos indicadores extraídos de: <sup>1</sup> Walz (2000); <sup>2</sup> Piorr (2003); <sup>3</sup> Dale & Beyeler (2001); <sup>4</sup> Merico(1997); <sup>5</sup> EEA(2003); <sup>6</sup> Winograd(1996); <sup>7</sup> Donnelly et al. (2007); <sup>8</sup> Lima (2001); <sup>9</sup> Niemeijer (2002). .....	4
Figura 3. Climatograma da área. Fonte: CETREL-LUMINA (2007), extraído de Gonçalves (2010). Média de 41 anos. ....	11
Figura 4. Fragmentos florestais estudados no município de Itaboraí, RJ. ....	13
Figura 5. Esquema da divisão dos fragmentos florestais em terços e desenho amostral de coleta de serrapilheira estocada, pitfall para coleta de Collembola e amostra de solo para FMA. ....	13
Figura 6. Sonda Metálica para coleta da serrapilheira estocada (A). Triagem da serrapilheira em frações (B). ....	14
Figura 7. Armadilha do tipo pitfall para coleta de Collembola. ....	16
Figura 8. Estoque de serrapilheira nos fragmentos florestais nas épocas seca e úmida. Letras maiúsculas (época úmida) e minúsculas (época seca) semelhantes não diferem segundo o teste t (Bonferroni) a 5%. Itaboraí, RJ, 2011.....	18
Figura 9. Representatividade das frações da serrapilheira nos fragmentos florestais nas épocas seca e úmida. ....	19
Figura 10. Quantidade média da fração restos nos fragmentos florestais, nas épocas seca e úmida. Letras maiúsculas (época úmida) e minúsculas (época seca) semelhantes não diferem segundo o teste t (Bonferroni) a 5%. ....	20
Figura 11. Densidade de esporos nos fragmentos florestais, nos períodos seco e úmido. Letras minúsculas (época seca) e maiúsculas (época úmida) semelhantes não diferem segundo o teste t (Bonferroni) a 5%. ....	23
Figura 12. Representatividade da atividade da subordens de Collembola nas épocas do ano em relação aos outros grupos da mesofauna do solo. ....	28
Figura 13. Atividade das subordens de Collembola nos fragmentos florestais na época seca. Letras iguais não diferem segundo o teste Kruskal-Wallis, a 5%. ....	29
Figura 14. Comparação da atividade de Collembola nos fragmentos florestais nas épocas seca e úmida.....	30
Figura 15. Morfoespécies de Entomobryomorpha encontrados nos fragmentos florestais avaliados. Itaboraí, Rio de Janeiro. 2012 (Fotos: Rafael N. Scoriza). ....	31
Figura 16. Morfoespécies de Poduromorpha encontrados nos fragmentos florestais avaliados. Itaboraí, Rio de Janeiro. 2012 (Fotos: Rafael N. Scoriza). ....	32
Figura 17. Morfoespécies de Symphypleona encontrados nos fragmentos florestais avaliados. Itaboraí, Rio de Janeiro. 2012 (Fotos: Rafael N. Scoriza). ....	33
Figura 18. Representatividade das principais morfoespécies de Collembola nos fragmentos florestais, na época seca. E.B = Entomobryomorpha morfoespécie B; P.A = Poduromorpha morfoespécie A; S.A = Symphypleona morfoespécie A. ....	34
Figura 19. Diagrama de ordenação resultante da análise de componentes principais, utilizando-se algumas variáveis de paisagem, vegetação e solos das áreas de estudo. Eixo x: 38,4%, Eixo y: 30,7%. ....	35
Figura 20. Diagrama de ordenação resultante da análise de componentes principais, utilizando-se o peso e concentração de macronutrientes das frações da época seca. Eixo x: 37,4%, Eixo y: 15,6%. ....	36



Figura 21. Diagrama de ordenação resultante da análise de componentes principais, utilizando-se o peso e concentração de macronutrientes das frações da época úmida. Eixo x: 40,3%, Eixo y: 20,4%. .....	37
Figura 22. Diagrama de ordenação resultante da análise de componentes principais, utilizando-se dados de Collembola e FMA na época seca. Eixo x: 13,9%, Eixo y: 12,8%.....	38
Figura 23. Diagrama de ordenação resultante da análise de componentes principais, utilizando-se dados de Collembola e FMA na época úmida. Eixo x: 23,3%, Eixo y: 19,1%..	39
Figura 24. Diagrama de ordenação resultante da análise de componentes principais, utilizando-se o peso e macronutrientes do estoque de serrapilheira, densidade de esporos e ocorrência de espécies de FMAs e atividade dos subordens de Collembola na época seca. Eixo x: 27,6%, Eixo y: 15,2%. .....	40
Figura 25. Diagrama de ordenação resultante da análise de componentes principais, utilizando-se o peso e macronutrientes do estoque de serrapilheira, densidade de esporos e ocorrência de espécies de FMAs e atividade dos subordens de Collembola na época úmida. Eixo x: 31,2%, Eixo y: 15,5%. .....	41

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Principais propriedades do solo nas áreas de estudo. Dados de solo na área de estudo de Curcio et al. (no prelo).....	12
Tabela 2. Características utilizadas para diferenciar as morfoespécies de Collembola (extraídas de Zeppelini Filho & Bellini (2004)). .....	16
Tabela 3. Concentração dos macronutrientes, carbono e a relação C/N nas frações do estoque de serrapilheira em cada fragmento florestal. Médias de 18 repetições. Letras minúsculas (comparação entre frações no mesmo fragmento) e maiúsculas (comparação da mesma fração entre fragmentos) semelhantes não diferem segundo o teste t (Bonferroni) a 5%. .....	21
Tabela 4. Espécies de Fungos Micorrízicos Arbusculares encontradas por fragmento florestais nas épocas do ano estudadas. S = época seca; U = época úmida. ....	24
Tabela 5. Ocorrência relativa de FMA nos fragmentos florestais nas épocas seca e úmida. ...	26
Tabela 6. Correlações entre a densidade de FMA e fatores do ambiente nas épocas seca e úmida. ....	27
Tabela 7. Riqueza total e média e os índices de Shannon e de Pielou das morfoespécies de Collembola nos fragmentos florestais na época seca. Letras iguais não diferem segundo o teste t (Bonferroni) a 5%. ....	33

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	1
2	REVISÃO DA LITERATURA .....	1
2.1	Indicadores ambientais e serviços ecossistêmicos da biodiversidade .....	1
2.2	O papel funcional da serrapilheira como fonte de nutrientes .....	5
2.3	A simbiose micorrízica como bioindicadora da interface serrapilheira-solo .....	7
2.4	Comunidade de Collembola como indicador ambiental. ....	8
3	MATERIAL E MÉTODOS .....	10
3.1	Localização e descrição da área de estudo .....	10
3.2	Coleta de Dados .....	12
3.2.1	Estoque de serrapilheira .....	14
3.2.2	Comunidade de Fungos Micorrízicos Arbusculares .....	15
3.2.3	Comunidade de Collembola Epígeos .....	15
3.2.4	Dados do ambiente .....	16
3.3	Análise dos Dados .....	17
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	17
4.1	Estoque de serrapilheira .....	17
4.1.1	Macronutrientes e carbono .....	21
4.2	Comunidade de Fungos Micorrízicos Arbusculares .....	23
4.3	Comunidade de Collembola Epígeos .....	28
4.4	Análise dos Indicadores Ambientais .....	34
4.4.1	Estoque de serrapilheira .....	35
4.4.2	Comunidade de Fungos Micorrízicos Arbusculares e Collembola .....	37
4.4.3	Conjunto de Indicadores .....	39
5	CONCLUSÕES .....	42
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	43

## 1 INTRODUÇÃO

Do total de Floresta Atlântica original, estima-se que os remanescentes florestais representam 11,7%, correspondente a uma área de 15.719.337 ha (RIBEIRO et al., 2009). Esta reduzida porção da vegetação arbórea original se encontra distribuída em fragmentos. Em função disto, a conservação dos remanescentes florestais é fundamental, pois são fontes de propágulos de plantas com potencial para recolonizar áreas onde estas podem estar localmente extintas e fornecedores de vários serviços ambientais prestados à sociedade humana (VIANA & TABANEZ, 1996; CERQUEIRA et al., 2003).

O longo histórico de uso agrícola, principalmente com o cultivo de cana-de-açúcar e laranja, o desmatamento desordenado, e a especulação imobiliária favoreceram a degradação das florestas e o predomínio de fragmentos na paisagem no município de Itaboraí, Rio de Janeiro. Este panorama pode ter modificado a estrutura e a qualidade dos remanescentes, bem como seu isolamento, o que propicia a diminuição da biodiversidade vegetal e animal locais (COLLI et al., 2003).

Uma ferramenta para quantificar e avaliar o estado de conservação dos fragmentos são os indicadores ambientais que, segundo a European Environment Agency (EEA) (2003), é formado pela agregação de diferentes e múltiplos dados, que representa um fenômeno em estudo. Assim, utilizando-se de parâmetros de fácil mensuração, acessíveis e comparáveis é possível inferir sobre a qualidade do ambiente e seu grau de conservação.

O compartimento formado pela serrapilheira e pelo solo, além de fornecer carbono e energia, abriga grande parte dos organismos do solo, além de ser responsável pela maioria dos processos biológicos e físico-químicos essenciais para o desenvolvimento e funcionalidade do ecossistema terrestre, como a decomposição e a ciclagem de nutrientes, sendo o estudo desta interface essencial para entender e acompanhar as modificações do ambiente (JEFFERY et al., 2010; CORREIA & ANDRADE, 2008).

Com isso o objetivo desse trabalho foi avaliar o funcionamento da interface serrapilheira-solo em fragmentos de Floresta Atlântica, inseridos em uma paisagem com longo histórico de atividade antrópica. Além disso, avaliar como fatores naturais da paisagem (compartimento geopedológico e época) interferem nos indicadores ambientais.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Indicadores ambientais e serviços ecossistêmicos da biodiversidade

Segundo a Avaliação Ecossistêmica do Milênio, biodiversidade é a “diversidade entre os organismos vivos da terra, ecossistemas aquáticos e terrestres e outros complexos ecológicos de que eles fazem parte” (JEFFERY et al., 2010). Sendo assim a biodiversidade abrange a totalidade de formas de vida, desde o espectro planetário de espécies às subunidades de espécies (raças, populações) juntas com o ecossistema e seus processos ecológicos (MYERS, 1996). Todos os níveis de diversidade biológica (variação genética, comunidades e ecossistemas) são necessários para a sobrevivência contínua das espécies e das comunidades naturais, sendo todos importantes para a espécie humana.

Quando a biodiversidade é esgotada, geralmente ocorre um declínio na integridade dos processos ecossistêmicos que suportam os serviços ambientais (MYERS, 1996). Para este autor a biodiversidade é a chave de contribuição de biomassa ou algum outro atributo de biota

e ecossistema, como: a) Clima: ajuda a manter a composição gasosa da atmosfera, regulando o clima; b) Ciclos biogeoquímicos: a biota do solo é o principal fator na maioria dos ciclos biogeoquímicos; c) Funções hidrológicas: as plantas participam de uma parte do ciclo hidrológico, controlando o escoamento de água; d) Proteção do solo: a diversidade de vegetação protege a superfície do solo; e) Polinização agrícola: cerca de um terço da dieta humana depende da polinização por insetos em hortaliças, legumes e frutas; f) Controle de pragas; g) Ecoturismo; h) Serviços variados: serviços de bioindicação de contaminantes e bioremediação.

Grande parte destes serviços ecossistêmicos podem ser avaliados através de medidas ou estimativas de si mesmos ou de fatores relacionados. Uma alternativa para a mensuração dos serviços ambientais é a identificação de indicadores ou aplicação de índices de qualidade (TURETTA et al., 2010; FELD et al., 2010). Para isso Vanderwalle et al. (2010) propõem alguns critérios para o estabelecimento dos indicadores de biodiversidade e serviços ecossistêmicos: (1) definição dos objetivos do indicador; (2) definição dos fatores ambientais que podem direcionar a mudança na biodiversidade; (3) definição das características ou conjunto das características (4) se possível, avaliar as informações disponíveis da característica; (5) os indicadores funcionais devem ser apropriados para investigações comparativas e estimativas; (6) o indicador funcional desenvolvido deve ser de fácil mensuração.

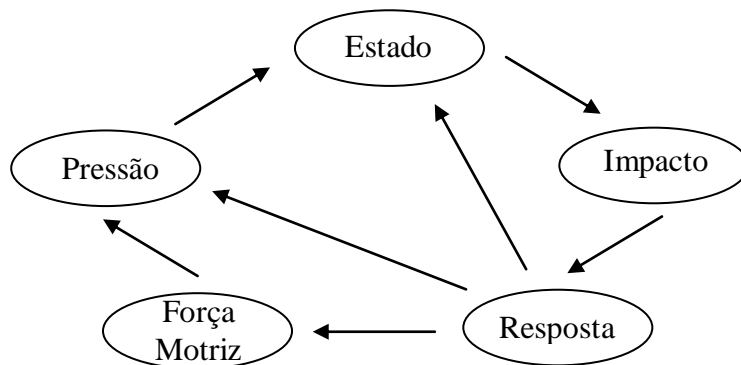
Os indicadores ambientais são de ampla utilização na ecologia e na análise de impactos ambientais. Sendo assim, existem diversas aplicabilidades, conceitos, objetivos e formas de análise por diversos autores. Indicadores ambientais são atributos passíveis de mensuração e devem ser vistos como uma importante ferramenta para avaliar variáveis e componentes de um ecossistema e assinalar mudanças ocorridas no ambiente em questão (Baretta et al., 2011). Segundo Girardin (1999), são variáveis biológicas, ecológicas, espécies, ou populações que ao darem respostas às mudanças de um gradiente físico-químico, mostram um grau de tolerância, ou então, entram em condições de resistência, stress ou morte. Para Diaz-Moreno (1999) são variáveis ou estimativas ambientais que possuem informações de forma agregada e sintética sobre um fenômeno. Segundo a European Environment Agency (EEA) (2003) é um valor observado, formado pela agregação de dados, que representa um fenômeno em estudo. Em geral, os indicadores quantificam pela agregação de diferentes e múltiplos dados. De maneira semelhante Alfsen (1993) define como um número que se destina a indicar o estado ou o desenvolvimento de importantes aspectos do ambiente.

O uso de índices biológicos, ou bioindicadores é feito desde antes do Império Romano, quando as pessoas utilizavam animais e plantas para entender as estações, solos, águas e os habitats da terra (WARREN, 1971). De acordo com o Instituto Nacional de Ecologia (1997), a gênese do desenvolvimento dos conceitos sobre indicadores ambientais ocorreu em 1987, no Canadá e na Holanda. Nas últimas décadas, o desenvolvimento de indicadores a nível nacional, regional e local, tornou-se uma abordagem comum de aproximação para a crucial necessidade de instrumentos ambientais, tornando-se um pré-requisito para a implementação do conceito de sustentabilidade, e especialmente de componentes ambientais (HANSEN, 1996) e tem o objetivo de melhorar tanto a informação quanto a comunicação do estado ambiental. Em adição, eles devem servir como uma ajuda para os gestores ambientais (WALZ, 2000).

A comunicação é a maior função dos indicadores: eles devem permitir ou promover a troca de informações sobre o que se avalia, simplificando uma realidade complexa (EEA, 2003), o que é requerido pelos gestores ambientais (DONNELLY et al., 2007). A dificuldade de selecionar um indicador apropriado está relacionada com a complexidade do sistema ecológico. Por isso é necessário o uso de um conjunto de indicadores que representem a estrutura, função e composição do sistema ecológico (DALE & BEYELER, 2001). Cada

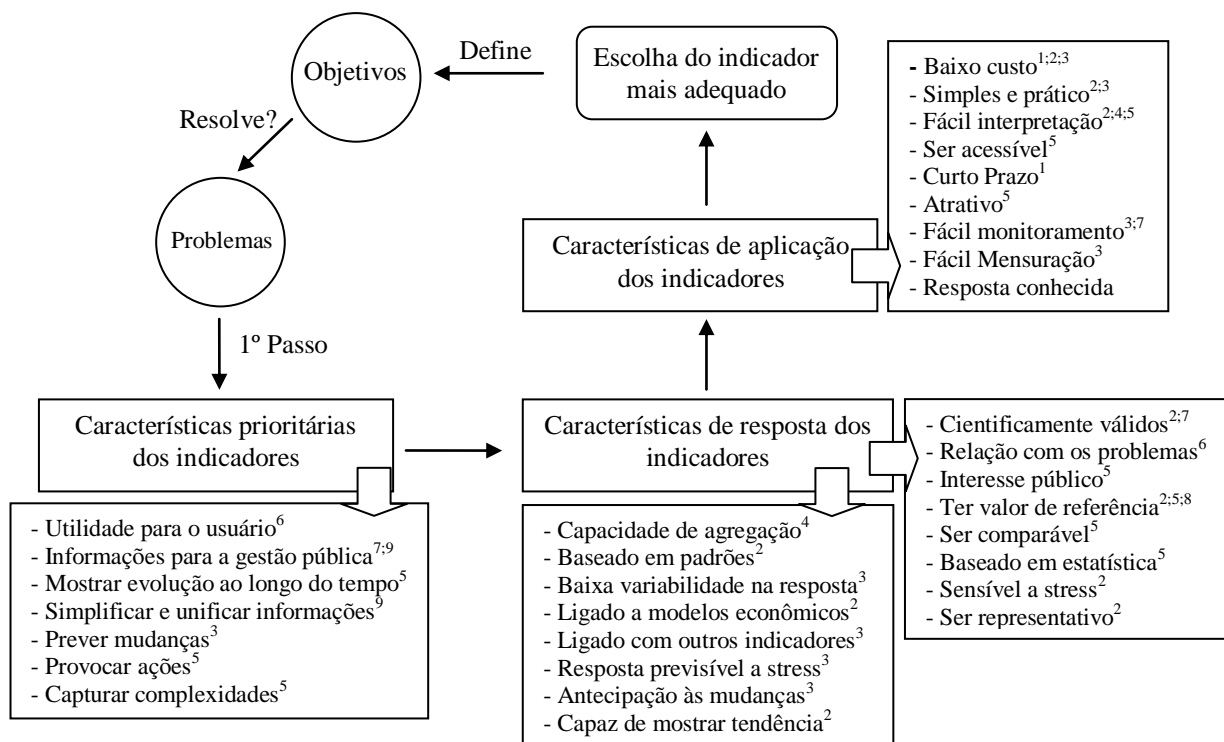
indicador dentro deste conjunto deve ter uma função particular na análise da resolução lógica do problema ambiental em questão, fornecendo assim uma ferramenta conveniente para esclarecer as condições ambientais e direcionar as propostas para orientação política (NIEMEIJER, 2002). Assim, segundo Vanderwalle et al. (2010) a combinação de diferentes indicadores, incluindo medidas de características funcionais, como os grupos funcionais dominantes na comunidade, pode melhor determinar as mudanças na estrutura da comunidade que tem, potencialmente, conseqüências importantes na função destes ecossistemas.

A categorização mais recente dos indicadores é a exemplificada por Jeffery et al., (2010) na Figura 1. Segundo a European Environment Agency (2003), toda alteração ambiental é originada de uma determinada pressão decorrente de uma “Força Motriz” que pode ser exemplificada pelo desenvolvimento social, demográfico e econômico e as mudanças correspondentes no estilo de vida, no nível global de consumo e nos padrões de produção. Através destas mudanças na produção e consumo, a Força Motriz exerce pressão sobre o ambiente. A “Pressão” descreve o efeito do desenvolvimento na emissão de substâncias, agentes físicos e biológicos, o uso dos recursos e o uso da paisagem pelas atividades humanas. O “Estado” fornece uma descrição da quantidade e qualidade de fenômeno físico (como a temperatura), fenômeno biológico (como o estoque de peixes) e fenômeno químico (como as concentrações de CO<sub>2</sub>) em certas áreas. Os “Impactos” são usados para descrever mudanças nas condições ambientais. A “Resposta” refere-se a respostas por grupos (e individuais) na sociedade, assim como tentativas governamentais de prevenção, compensação, amenização e adaptação às mudanças no estado do ambiente.



**Figura 1.** Modelo Pressão-Estado-Impacto-Resposta de aplicação de indicadores ambientais, com exemplo para a biodiversidade do solo (In: Jeffery et al., 2010).

A aplicação e escolha dos indicadores é uma das etapas finais do processo de avaliação do ecossistema. Inicialmente deve-se focar no problema a ser resolvido. Este ponto inicial informará a abrangência e as prioridades que as características do indicador devem alcançar. A avaliação das características desejadas nas respostas dos indicadores é a segunda etapa, pois determinará o que deverá ser respondido e em quais condições. A terceira etapa são as características práticas que os indicadores devem apresentar para que todo o processo possa ser executado, como mostrado na Figura 2. Estas três etapas iniciais definirão quais os melhores indicadores. A partir destes, e sabendo suas qualidades, pode-se definir os objetivos para que os problemas levantados sejam resolvidos.



**Figura 2.** Esquema de escolha dos indicadores mais adequados. Principais características dos indicadores extraídos de: <sup>1</sup>Walz (2000); <sup>2</sup>Piorr (2003); <sup>3</sup>Dale & Beyeler (2001); <sup>4</sup>Merico(1997); <sup>5</sup>EEA(2003); <sup>6</sup>Winograd(1996); <sup>7</sup>Donnelly et al. (2007); <sup>8</sup>Lima (2001); <sup>9</sup>Niemeijer (2002).

Segundo Whately (2008) o termo “serviços ambientais” pode também ser identificado como “serviços ecossistêmicos” ou “serviços ecológicos”, definido como os benefícios indiretos gerados pelos recursos naturais ou pelas propriedades ecossistêmicas das inter-relações entre estes recursos e a natureza, como a produção e disponibilidade de água potável; regulação do clima; biodiversidade; paisagem; fertilidade do solo etc. Da mesma forma Riva (2007) define que o conceito de serviços ambientais está associado ao reconhecimento que o meio ambiente fornece gratuitamente uma gama de bens e serviços que são de interesse direto ou indireto do ser humano, permitindo sua sobrevivência e seu bem-estar. De maneira simples, Daily (1997) define os serviços ambientais como condições e processos que complementam o ecossistema natural, e as espécies que o fazem, sustentam e mantêm a vida humana.

A geração destes bens e serviços pelos ecossistemas naturais ou sob atividades antrópicas, é condicionada pelo tipo de uso e cobertura da terra, ocorrente em determinado espaço e tempo. Mudanças no uso e cobertura da terra têm impactos relevantes no funcionamento de um sistema, interferindo nos serviços (TURETTA et al., 2010). Esforços e intervenções para manipular agroecossistemas a fim de atender as funções de produção específicas representam custos para o resto do ecossistema em termos de ecologia, matéria e diversidade biológica, e muitas vezes negativamente afetam bens e serviços que até agora foram considerados gratuitos e abundantes (SWIFT et al., 2004). A compreensão principal é que o conceito de bens e serviços ecossistêmicos é essencialmente antrópica (GROOT et al., 2002). Os serviços ecossistêmicos finais são compostos pela natureza, diretamente

desfrutados, consumidos ou usados para produzir o bem estar humano (BOYD & BANZHAF, 2007).

Os serviços ecossistêmicos são gerados por um complexo ciclo natural, dirigido pela energia solar, operando em diferentes escalas (DAILY, 1997). Segundo Bello et al. (2010), o tipo, a extensão e especialmente a abundância relativa de características funcionais em comunidades bióticas exerce um controle significativo sobre diferentes serviços ecossistêmicos através de uma gama de organismos e ecossistemas. Os organismos do solo são vitais para a funcionalidade do solo bem como responsáveis por uma grande quantidade de processos que são a base do provimento de numerosos bens e serviços ambientais (JEFFERY et al., 2010). Comunidades biológicas dão continuidade ao funcionamento apropriado de ecossistemas, fornecendo serviços benéficos tais como o controle de enchentes, a proteção do solo contra erosão e a filtragem do ar e da água (PRIMACK & RODRIGUES, 2001).

Segundo a Avaliação Ecossistêmica do Milênio e Groot et al. (2000) é conveniente agrupar os serviços ecossistêmicos em quatro categorias:

- 1) Função de regulação: este grupo de funções relaciona a capacidade do ecossistema natural ou semi-natural em regular processos ecológicos essenciais e manter sistemas de vida através de ciclos bio-geoquímicos e outros processos biosféricos. Em adição, para manutenção da saúde do ecossistema, essas funções de regulação provêm diversos serviços que são diretamente ou indiretamente benéficos ao homem (como ar limpo, água e solo, e serviços de controle biológico).
- 2) Função de habitat: ecossistemas naturais provêm refúgio, habitat de reprodução, plantas e animais silvestres e assim contribuem para a conservação da diversidade biológica e genética, bem como para os processos evolutivos.
- 3) Função de produção ou provisão: uma grande variedade de produtos carbônicos produzidos por produtores primários provêm muitos bens ecossistêmicos para o consumo humano.
- 4) Função de informação ou cultural: como a evolução humana ocorreu dentro do contexto de ambiente selvagem, os ecossistemas naturais fornecem uma função de referência essencial, e contribuem para a manutenção da saúde humana pela provisão de oportunidades de reflexão, enriquecimento espiritual, desenvolvimento cognitivo, recreação e experiência estética.
- 5) Função de suporte: necessários para a manutenção de todos os outros serviços.

Segundo Vanderwalle et al. (2010) existem várias metodologias para monitorar diferentes aspectos da biodiversidade e os serviços ecossistêmicos por ela regulados, através de diferentes indicadores. Entretanto a biodiversidade geralmente é estimada usando simplesmente um índice (como riqueza de espécies, por exemplo) e outros índices baseados na composição taxonômica da comunidade e do ecossistema em estudo. Para o autor seria mais sensato incluir componentes funcionais nesta avaliação. A identificação dos grupos de “traits” (que são características de um organismo que denota ligação com a sua função), bem como a presença, abundância e diversidade dentro de cada grupo e serviços pode realçar seu entendimento teórico e a capacidade de manejo da biodiversidade para a provisão de múltiplos serviços ecossistêmicos (BELLO et al., 2010)

## **2.2 O papel funcional da serrapilheira como fonte de nutrientes**

A serrapilheira constitui-se a camada de restos vegetais e animais disposta na superfície do solo (BORÉM & RAMOS, 2002), com o papel de atuar como um sistema de entrada e saída, decompondo-se e suprindo o solo e as raízes com nutrientes e matéria



orgânica e sendo essencial na restauração da fertilidade do solo em áreas em início de sucessão ecológica (EWEL, 1976).

Quando acumulada sobre o solo contribui, juntamente com os diversos compartimentos florestais, para a interceptação das gotas de chuva, minimizando assim seus efeitos erosivos. É também um compartimento de armazenamento de água, que apesar de pouca capacidade em termos quantitativos, funciona como um isolante térmico, contribuindo para a redução da evaporação e manutenção de microclima estável na superfície do solo (GARAY & KINDEL, 2001). Além disto, produz sombra e retém umidade, criando condições microclimáticas que influem na germinação de sementes e estabelecimento de plântulas (MORAES et al., 1999).

Porém quando espessa, a serrapilheira pode atuar como barreira física ao estabelecimento inicial de determinadas espécies, dificultando a penetração de sementes, impossibilitando a radícula de atingir o solo ou impedindo que plântulas consigam emergir após a germinação (CHAMBERS & MACMAHON, 1994). Esta também desempenha papel essencial no crescimento das plantas, pois influencia nas propriedades físicas, biológicas e químicas dos solos, bem como aumenta a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo (GARAY & KINDEL, 2001).

Na serrapilheira ocorre a etapa do retorno da matéria orgânica, dos seus nutrientes e dos elementos não essenciais da parte aérea da comunidade de plantas para a superfície do solo (BORÉM & RAMOS, 2002). De forma geral, pode-se dizer que o conjunto de nutrientes disponíveis na serrapilheira acumulada, bem como no solo, representa o total dos nutrientes que serão acessíveis para a vegetação do ecossistema. Nesse contexto, esses reservatórios representam uma porção de nutrientes que circulam no ecossistema e sobre a qual a vegetação exerce uma participação direta (CALDEIRA et al., 2007).

Em regiões frias, uma grande porção de material orgânico e de nutrientes disponíveis está sempre situada no solo ou sedimento. Nos trópicos, uma porcentagem muito maior está localizada na biomassa e é reciclada rapidamente no interior da estrutura orgânica do sistema, auxiliada por algumas adaptações biológicas para a conservação dos nutrientes, incluindo simbiose mutualista entre microorganismos e plantas (ODUM & BARRETT, 2011). É devido à eficiência do processo de ciclagem que ocorre nas camadas e horizontes mais superficiais do solo que a maior parte das florestas tropicais e subtropicais, como a maioria das formações da Floresta Ombrófila Densa, mantêm sua alta produtividade, mesmo em solos com baixa disponibilidade de nutrientes (SCHEER, 2008).

No processo de ciclagem de nutrientes ocorrem deposição e decomposição da serrapilheira, os nutrientes são liberados possibilitando o reaproveitamento pelas plantas e garantindo a sustentabilidade do ecossistema (PINTO & MARQUES, 2003). É importante ressaltar a capacidade de realimentação do solo pelos nutrientes reciclados através da serrapilheira. Nela, os nutrientes estão mais protegidos contra lixiviação que os armazenados no solo porque na sua maioria, fazem parte de compostos orgânicos (BORÉM & RAMOS, 2002). A serrapilheira, por ser a principal via de transferência de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e cálcio, é utilizada para comparar a eficiência de utilização de nutrientes, em diferentes sistemas florestais (SELLE, 2007).

O acúmulo de serrapilheira no solo está diretamente relacionado com a atividade decompositora dos microorganismos, que ao serem afetados em seus processos metabólicos diminuem sua atividade, ocasionando um baixo coeficiente de decomposição (SANTOS, 1997). Para Poggiani (1985), a decomposição da serrapilheira é um fenômeno onde os tecidos mais facilmente atacados por fungos e bactérias, tais como celulose e hemicelulose, desaparecem rapidamente, mas, à medida que o ataque vai progredindo, permanecem substâncias gradativamente mais resistentes à decomposição que, em alguns casos, podem demorar dezenas de anos para desaparecerem. Alguns fatores influenciam na decomposição

como: latitude, altitude, temperatura, precipitação, estágio sucessional, herbivoria, disponibilidade hídrica e estoque de nutrientes do solo (PORTES et al., 1996), umidade do solo e vento (DIAS & OLIVEIRA FILHO, 1997). Assim a heterogeneidade vertical da serrapilheira é decorrente da velocidade de decomposição, que por sua vez, é determinada por fatores climáticos, edáficos e biológicos (CORREIA & ANDRADE, 2008).

Com isso, a avaliação da serrapilheira propicia informações diretas de sua quantidade e qualidade e indiretas sobre os vários fatores, como os expostos acima, que determinam a sua dinâmica, o que permite entender melhor o funcionamento do ecossistema. Além disto, esta camada que cobre a superfície do solo pode ser a explicação de muitos fenômenos biológicos que ocorrem no solo.

### **2.3 A simbiose micorrízica como bioindicadora da interface serrapilheira-solo.**

Micorrizas são associações mutualistas entre certos fungos do solo e as raízes da maioria das espécies vegetais. Atualmente, são reconhecidos seis tipos diferentes de associações micorrízicas, sendo algumas delas muito específicas, encontradas em apenas algumas famílias de plantas terrestres (Arbuscular, Arbutóide, Ericóide, Ecto, Monotropóide e Orquidóide) (BERBARA et al., 2006). Os fungos formadores de micorrizas arbusculares estão incluídos no grupo dos glomeromicetos, que formam um grupo monofilético (compartilhamento do arbúsculo) de fungos classificados em quatro ordens, treze famílias e dezenove gêneros, com pouco mais de 215 espécies descritas (SOUZA et al., 2010).

Solos naturais, sob as mais diversas coberturas vegetais, naturalmente contêm comunidades de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) associados a raízes de plantas (SOUZA et al., 2010). Dentre os tipos de micorrizas, as ectomicorrizas têm maior importância nas florestas de clima temperado e as endomicorrizas do tipo arbuscular (MAs) predominantes nas florestas tropicais (SIQUEIRA, 1994; JANOS, 1980), sendo estas últimas colonizando as raízes de plantas de quase todos os gêneros das Gimnospermas e Angiospermas, além de alguns representantes das Briófitas e Pteridófitas (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002). São encontrados nos solos como hifas e esporos, sendo esta última a principal estrutura de propagação (SYLVIA & JARSTFER, 1992). As evidências de que os vegetais ancestrais já tinham micorrizas, indicam que plantas e fungos micorrízicos passaram por um processo de co-evolução, o que explica a ocorrência generalizada das diferenciações em tipos e distribuição geográfica dessas associações (SOUZA et al., 2006).

Ocorrem na maioria dos ecossistemas e são influenciados por fatores diversos de natureza biótica e abiótica, que interferem na sobrevivência e na germinação dos propágulos infectivos, alterando o processo e os efeitos da colonização radicular nas plantas (CARDOSO, 2010). A presença do fungo MA dentro do tecido da raiz de uma planta hospedeira pode ter influência também sobre vários aspectos da fisiologia dessas plantas (GIANINAZZI-PEARSON & GIANINAZZI, 1983; HAYMAN, 1983). Tais mudanças das plantas micorrizadas se devem à capacidade dos fungos em conduzir hormônios como ácido abscísico, giberelinas, auxinas e citocinas (ALLEN, 1991; HETRICK et al., 1993; ALARCÓN & FERRERA-CERRATO, 2001). Além disto, os processos de integração e acoplamento dos FMA são determinados pela expressão gênica de defesa da planta (COSTA & LOVATO, 2011).

Como resultado desses múltiplos níveis de dependência da planta ao fungo micorrízico, a associação acaba por influenciar a estrutura da paisagem, sendo um dos componentes definidores da diversidade de espécies vegetais e da produtividade primária, podendo ser representada pela serrapilheira. Ao mesmo tempo, plantas também influenciam a diversidade e abundância da comunidade de FMA. Por isso, através dos muitos mecanismos que não são totalmente conhecidos, é geralmente aceito que os FMA no sistema contribuem

em muitos processos e funções, através do estabelecimento de ligações e respostas entre plantas e ciclagem de nutrientes, o que pode influenciar em larga escala no funcionamento da comunidade e do ecossistema (MILLER & KLING, 2000). Assim a composição de espécies da comunidade de FMA pode direcionar os meios para a coexistência com as plantas e assim determinar a estrutura desta comunidade (VAN DER HEIJDEN et al., 1998), já que o micélio de fungos MA frequentemente interconecta o sistema radicular de plantas vizinhas da mesma espécie ou de espécies distintas (BERBARA et al., 2006).

Como simbioses obrigatórios de raízes metabolicamente ativas, os FMAs trazem benefícios à comunidade vegetal e ao ambiente, fornecendo nutrientes e água às plantas, assim como favorecendo a retenção de umidade, a agregação e a estabilidade dos solos (AUGÉ et al. 2001). Em algumas espécies vegetais é tão acentuada a dependência à presença desses fungos que, na ausência total da simbiose, não conseguem absorver os nutrientes necessários para a sua sobrevivência (SOUZA, 2010). Esta dependência ocorre porque as hifas extra-radulares são mais eficientes que raízes na captura de nutrientes. Por serem estruturas extremamente longas e finas com cerca de 2  $\mu\text{m}$  de diâmetro, podem explorar volumes do solo inatingíveis por estruturas radiculares (pêlos radiculares apresentam valores de 10–20  $\mu\text{m}$  de diâmetro e raízes laterais de 100–500  $\mu\text{m}$ ). Portanto, hifas são capazes de absorver os elementos minerais, como uma raiz, mas de maneira mais eficiente (BERBARA et al., 2006).

Outro benefício ao solo é a produção da glomalina, sendo os FMAs responsáveis pela produção desta glicoproteína (BERBARA et al., 2006). Considerada como um componente abundante da matéria orgânica do solo (WRIGHT & UPADHYAYA, 1996) apresenta grande contribuição na estabilidade de agregados do solo (PURIN & KLAUBERG FILHO, 2010) e sua estruturação, com conseqüente diminuição dos processos erosivos (BERBARA et al., 2006). Além disso a resposta da glomalina ao tipo de uso do solo sugerem que esta possa ser utilizada como um indicador de recuperação de ecossistemas (RILLIG et al., 2003).

O efeito dos fungos micorrízicos sobre o crescimento das plantas é especialmente significativo com relação aos nutrientes de baixa mobilidade no solo, os quais praticamente não se movem por fluxo de massa, porém chegam à raiz por meio de mecanismos de difusão, que é um processo extremamente lento no solo (MARSCHNER, 1995). Neste grupo situam-se primordialmente o macronutriente fósforo e os micronutrientes zinco e cobre (CARDOSO, 2010).

Determinar a diversidade e os fatores que afetam a estrutura e função dessas comunidades e sua contribuição para diferentes espécies de plantas cultivadas ou nativas tem sido o objeto de grande número de pesquisas realizadas no Brasil e no mundo (SOUZA et al., 2010). Uma das áreas beneficiadas por estes estudos é a recuperação de áreas degradadas. Segundo Aidar et al. (2004) a inoculação com fungos micorrízicos pode ser considerada como um fator crítico para o sucesso da recuperação de ecossistemas florestais. Após a seleção de espécies de FMAs eficientes em promover crescimento, o sucesso e a viabilidade de sua aplicação no estágio da formação de mudas dependerá do grau de micotrofismo, ou seja, da dependência que a planta apresenta a essa simbiose (SIQUEIRA & SAGGIN JÚNIOR, 2001). Além desta aplicação pesquisas sobre fungos micorrízicos podem contribuir para resolver questões ambientais na mudança climática, perda da diversidade biológica, desertificação e degradação da paisagem, assim como problemas de desmatamento, florestamento e agriculturas insustentáveis (MILLER & KLING, 2000).

## **2.4 Comunidade de Collembola como indicador ambiental.**

Os colêmbolos são artrópodes com um tamanho que pode variar de 0,2 a 3 mm. Não possuem asas, apresentam apêndices abdominais particulares e a tagmose do corpo

semelhante aos insetos. A palavra Collembola deriva de colla (do Latim) ou kolla (do Grego) que significa “cola, adesivo, grude” e de embolon (Latim) ou embolou (Grego) que significa “embolo, ferrolho, alavanca” (ZEPPELINI FILHO & BELLINI, 2004).

É formado por, pelo menos, quatro grupos distintos que podem ser classificados como ordens. Os dois grupos mais basais, Poduromorpha e Entomobryomorpha, apresentam corpo alongado e os dois grupos mais derivados, Neelipleona e Symphypleona, apresentam corpo globoso com fusão de segmentos. Existem mais de 7500 espécies descritas de colêmbolos, incluídos em cerca de 600 gêneros de 30 famílias distintas, em todo o mundo. O número total de colêmbolos atualmente registrados no Brasil é 209 espécies, distribuídas em 19 famílias e 82 gêneros (ZEPPELINI FILHO & BELLINI, 2004). A densidade dos Collembola pode chegar a vários milhões de indivíduos por metro quadrado e a riqueza de espécies de 1-3 a 50-60 espécies em um ecossistema (RUSEK, 1998). São encontrados em todos os biomas terrestres, incluindo topo de montanhas, regiões polares desertos, cavernas e ambientes aquáticos. Fatores que influenciam a distribuição e localização são alimento, temperatura e porosidade do solo (GREENSLADE, 1991).

Moreira et al. (2010) classificam os colêmbolos dentro de dois grupos funcionais-chave da biota do solo: transformadores da serrapilheira e microrreguladores. O primeiro trata de invertebrados que se alimentam dos detritos de matéria orgânica condicionada por microorganismos e que fragmentam esse material, fazendo-o mais acessível aos decompositores, ou promovendo o crescimento microbiano nas fezes peletizadas. O grupo dos microrreguladores são animais que regulam os ciclos de nutrientes através de herbivoria e outras interações com os microorganismos decompositores. A estrutura da forma de vida é um importante parâmetro para as comunidades de colêmbolos e reflete, por exemplo, o estado de desenvolvimento do solo durante a sucessão e pode indicar microestruturas do solo e húmus. Algumas formas de vida são restritas a diferentes estratos verticais do ecossistema e, portanto seu papel funcional se especifica sobre este, como as diferenciações encontradas no aparelho bucal (RUSEK, 1998). Segundo Eisenhauer et al. (2011), interações intraespecíficas entre espécies de Colêmbolos, como competição e cooperação, podem afetar o funcionamento do ecossistema.

Os colêmbolos exercem um grande papel na formação da microestrutura do solo em solos pouco desenvolvidos e em estágios iniciais de desenvolvimento. Em solos mais desenvolvidos participam da desintegração de folhas e na desintegração secundária dos excrementos de macro e megafauna (RUSEK, 1998; GREENSLADE, 1991). Em relação à cadeia alimentar muitas espécies se alimentam principalmente de microorganismos associados com a rizosfera e com material orgânico em decomposição (GREENSLADE, 1991; HOPKIN, 1997). São primariamente detritívoros e microbívoros, alimentando-se de hifas de fungos e outros materiais em decomposição. Junto com os nematóides, são uns dos maiores agentes biocontroladores da população microbiana (JEFFERY et al., 2010). Os colêmbolos servem de presa para diversos animais em diferentes etapas de seu desenvolvimento (BILDE et al., 2000; ZEPPELINI FILHO & BELLINI, 2004).

Em ambientes fortemente perturbados, ou ecossistemas que estão se desenvolvendo pela sucessão, as espécies de colêmbolos podem ser diferentes das presentes em uma comunidade clímax (HOPKIN, 1997). Geralmente são indicadores sensíveis de distúrbios e importantes na avaliação ambiental (GREENSLADE, 1991), sendo a densidade e biodiversidade em alguns ecossistemas, fortemente afetadas por atividades antrópicas (RUSEK, 1998). Mudanças nas condições climáticas, atividades de reflorestamento (SOUSA et al., 2003) e mudanças nos parâmetros do solo, principalmente com a umidade do solo, química do solo e composição de plantas (LAUGA-REYREL & DECONCHAT, 1999) são outros fatores que podem ser avaliados através destes organismos. Os colêmbolos também são utilizados em trabalhos de ecotoxicologia, como o realizado por Fountain & Hopkin (2004),

que utilizaram a espécie *Folsomia cãndida* para avaliar a contaminação por metais pesados em áreas urbanas na Inglaterra.

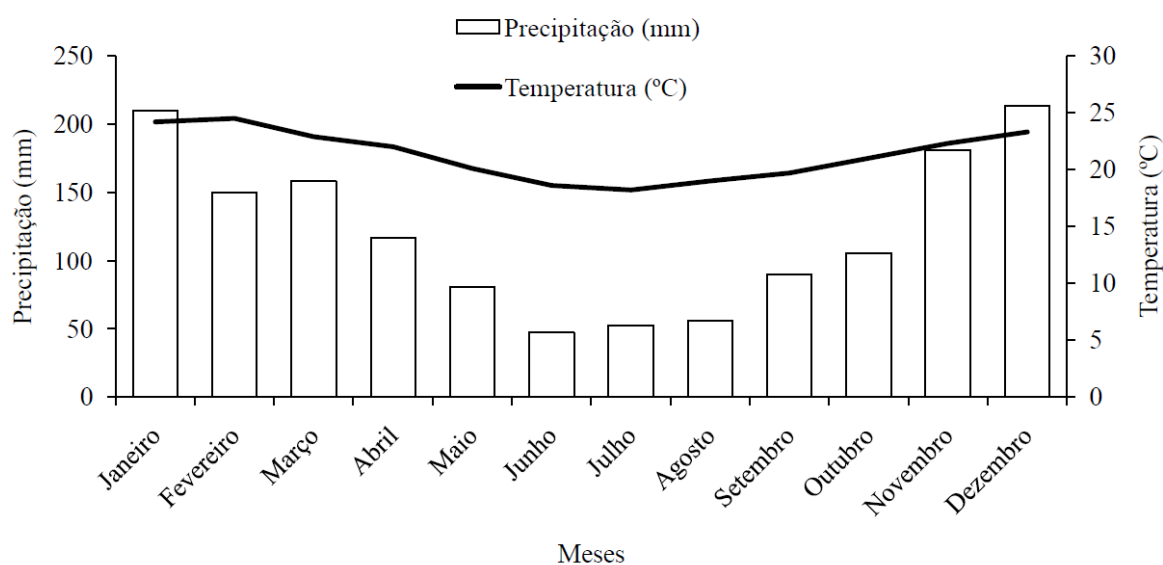
Poucos são os trabalhos desenvolvidos no Brasil utilizando os colêmbolos como indicadores. Baretta et al. (2008) avaliando a qualidade do solo em áreas de araucária de Campos do Jordão-SP através da diversidade de famílias de colêmbolos concluíram que estes são sensíveis às alterações antrópicas, podendo ser utilizados como bioindicadores de distúrbios. Culik et al. (2006) fizeram o levantamento de espécies em plantios de mamão em diferentes manejos no estado do Espírito Santo, observando o novo registro de espécies na região. Rieff (2010) em sua dissertação de mestrado utiliza colêmbolos e ácaros para comparar áreas de diferentes coberturas vegetais, constatando que alguns grupos foram capazes de mostrar diferenças entre as áreas e qualidade do solo.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização e descrição da área de estudo

O local selecionado para realizar o projeto está localizado entre as coordenadas 42°47'35"W/42°49'20"W e 22°40'35"S/22°38'51S, inserido nas bacias hidrográficas dos rios Macacu e Caceribu, no município de Itaboraí, que compõe a região metropolitana do estado do Rio de Janeiro. Parte destas bacias hidrográficas estão inseridas num complexo de unidades de conservação como o Parque Nacional das Serras dos Órgãos, Estação Ecológica Estadual do Paraíso e algumas Áreas de Proteção Ambiental (Guapimirim, Petrópolis, do Rio São João – Mico Leão Dourado, entre outras). No entanto, isto não significa que esta paisagem esteja bem preservada. Ao contrário, um longo histórico de uso que data do século XXVII, e que envolveu a exploração do solo para a cultura canavieira, fruticultura, pastagens e extração de areia e argila, teve um forte impacto nessa região. Restam poucos fragmentos florestais, de pequeno tamanho e bastante impactados por ação de queimadas e retirada de lenha (EMBRAPA, 2007).

A área está inserida no complexo metamórfico do embasamento pré-cambriano, de relevos pouco movimentados predominantemente convexados, contidos em três superfícies distintas de erosão: planícies do Quaternário, volumes do Terciário e os níveis do Proterozóico. Nos compartimentos ambientais mais altos predominam o Cambissolo e o Argissolo Amarelo. Nos compartimentos de planície prevalecem o Gleissolos e os Neossolos Flúvicos (EMBRAPA, 2007). A classificação, segundo Koppen é Aw, ou seja, clima tropical úmido ou subúmido com inverno seco. A temperatura média anual é de 21,4°C com precipitação média anual de 1460 mm, sendo dezembro o mês mais chuvoso. Na Figura 3 está representado o climatograma da região (GONÇALVES, 2010).



**Figura 3.** Climatograma da área. Fonte: CETREL-LUMINA (2007), extraído de Gonçalves (2010). Média de 41 anos.

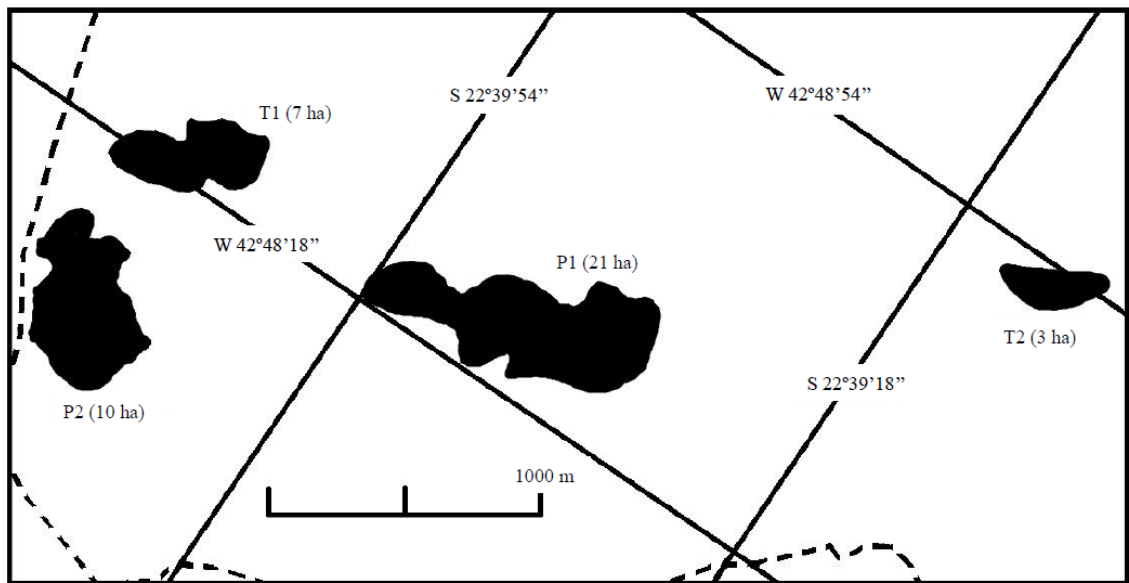
Os fragmentos estão inseridos nos domínios da Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas e Submontana (VELOSO et al.,1991). A característica da paisagem na área é a de uma matriz de pastagens, com predomínio das espécies de *Brachiaria humidicola*, *Brachiaria decumbens* e *Paspalum* sp. Segundo Uhlmann (comunicação pessoal) que realizou um recente levantamento florístico nos fragmentos florestais da área de estudo, estes apresentam diferentes estágios de regeneração, distribuição esparsa e claro predomínio de poucas espécies, sendo *Gochnatia polymorpha* a espécie dominante na área do Proterozóico. As principais propriedades do solo nas áreas de estudo estão apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Principais propriedades do solo nas áreas de estudo. Dados de solo na área de estudo de Curcio et al. (no prelo).

Fragmento	Terço	Classificação do Solo	Horizonte	% Areia	% Argila	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Densidade do Solo (kg dm <sup>-3</sup> )	Porosidade total (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	C (g/dm <sup>3</sup> )	Valor S
Proterozóico 1	Superior	Latossolo Amarelo	A	42,4	45,0	3,4	1,129	0,563	9,6	0,56
	Médio	Latossolo Amarelo	A	52,9	35,0	3,4	1,067	0,645	7,8	0,75
	Inferior	Latossolo Amarelo	A	46,2	40,0	3,5	1,106	0,591	4,2	0,65
Proterozóico 2	Superior	Argissolo Vermelho-Amarelo	Ap	53,3	30,0	3,5	1,250	0,509	14,3	0,67
	Médio	Argissolo Vermelho-Amarelo	Ap	49,4	40,0	3,8	1,400	0,448	15,3	0,67
	Inferior	Argissolo Vermelho-Amarelo	Ap	56,8	32,5	4,0	1,160	0,553	18,2	1,42
Terciário 1	Superior	Latossolo Amarelo	Ap	70,8	22,5	3,7	1,497	0,482	4,2	0,94
	Médio	Latossolo Amarelo	Ap	65,3	30,0	3,7	1,532	0,447	9,6	0,71
	Inferior	Latossolo Amarelo	Ap	61,6	30,0	3,5	1,569	0,435	6,0	0,64
Terciário 2	Superior	Cambissolo Háplico	Ap	55,9	35,0	3,4	1,200	0,504	16,5	0,87
	Médio	Latossolo Amarelo	Ap	55,0	40,0	3,7	1,270	0,530	15,3	0,57
	Inferior	Latossolo Amarelo	Ap	42,6	55,0	3,6	1,170	0,584	13,3	0,57

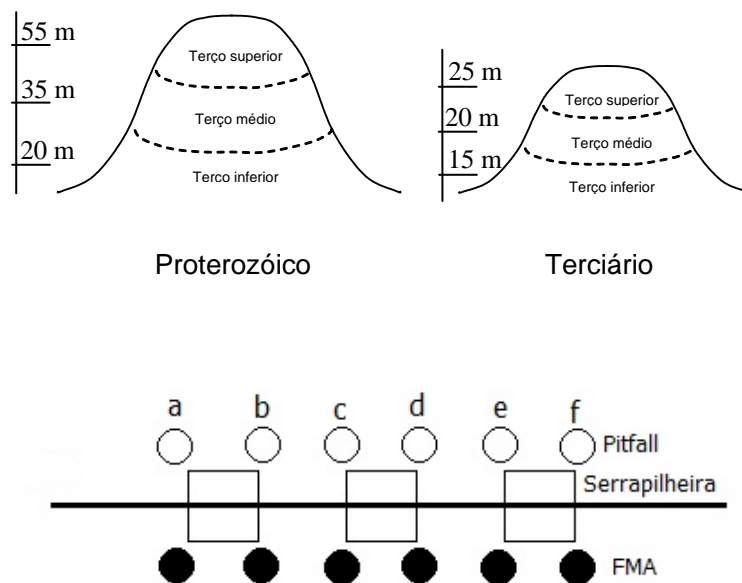
### 3.2 Coleta de Dados

As amostragens dos indicadores da interface serrapilheira-solo: estoque de serrapilheira, fungos micorrízicos e comunidade de colêmbolos foram realizadas em quatro fragmentos florestais situados em morros que se constituem em superfícies de erosão do Proterozóico (P1 e P2) e do Terciário (T1 e T2). Os fragmentos são também variáveis em tamanho, sendo que o fragmento T1 abrange uma área de cerca de 7 ha, o fragmento T2 3 ha, o fragmento P1 é o maior fragmento com 21 ha e o fragmento P2 possui 10 ha. A localização e tamanho dos fragmentos florestais estudados estão representados na Figura 4.



**Figura 4.** Fragmentos florestais estudados no município de Itaboraí, RJ.

Em cada fragmento florestal foram delimitadas três áreas, contemplando cada uma os terços superior, médio e inferior (Figura 5). A delimitação dos terços foi estabelecida com base em perfis de solo realizados por Curcio et al. (no prelo) e em parcelas de avaliação da vegetação realizadas por Uhlmann et al. (no prelo). Em cada terço foram realizadas coletas de fauna epígea do solo (onde se avaliou o grupo Collembola), estoque de serrapilheira e amostras de solo para avaliação de Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA). As coletas foram feitas no final da época seca (Junho/2010) e no final da época úmida (Fevereiro/2011).

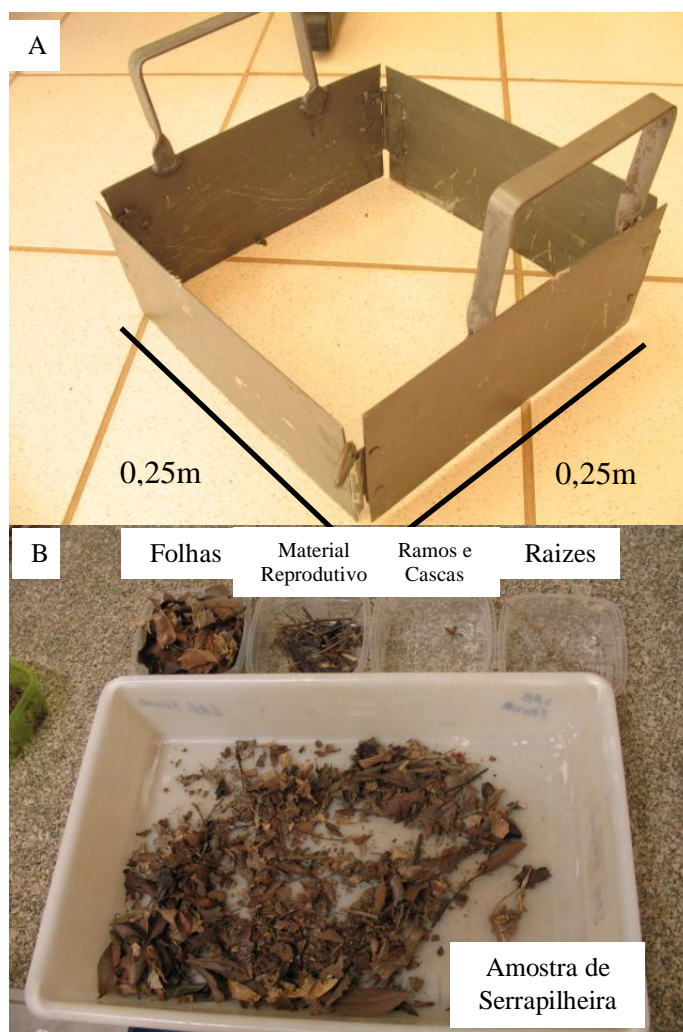


**Figura 5.** Esquema da divisão dos fragmentos florestais em terços e desenho amostral de coleta de serrapilheira estocada, pitfall para coleta de Collembola e amostra de solo para FMA.



### 3.2.1 Estoque de serrapilheira

Em cada um dos terços dos fragmentos, foram realizadas coletas de três amostras de serrapilheira (Figura 5) estocadas no solo, com o auxílio de uma sonda metálica de área interna de 0,0625 m<sup>2</sup>. Este material foi colocado em sacos plásticos e levados para laboratório. As amostras foram submetidas a um período de pré-secagem de três a quatro dias, sendo então separada nas frações folhas, ramos e cascas, material reprodutivo e restos. Além das frações da serrapilheira, as raízes finas presentes nas amostras foram separadas e submetidas aos mesmos processos das frações (Figura 6). Após a triagem, o material foi seco em estufa de circulação forçada de ar, a 65°C por 24 horas. Após este período as frações foram pesadas em balança de precisão semi-analítica.



**Figura 6.** Sonda Metálica para coleta da serrapilheira estocada (A). Triagem da serrapilheira em frações (B).

Para a avaliação dos teores dos macronutrientes as frações folhas, ramos e cascas e restos foram moídas em moinho tipo Wiley e encaminhadas para o Laboratório de Química Agrícola na Embrapa Agrobiologia. Para a extração dos elementos químicos do material vegetal foi utilizado o método da digestão úmida (sistema aberto), recomendado pela Embrapa (2005), em que a matéria orgânica do tecido vegetal foi oxidada com ácidos minerais concentrados e a quente. Para determinar os teores de nitrogênio (N) utilizou-se a

digestão sulfúrica pelo método de Kjeldhal. O fósforo (P) foi determinado por espectrofotometria com azul-de-molibidênio, o potássio (K) por fotometria de chama e o cálcio (Ca) e magnésio (Mg) por espectrofotometria de absorção atômica. Para a quantificação do carbono orgânico as amostras foram submetidas à combustão em forno-mufla (EMBRAPA, 1997).

### **3.2.2 Comunidade de Fungos Micorrízicos Arbusculares**

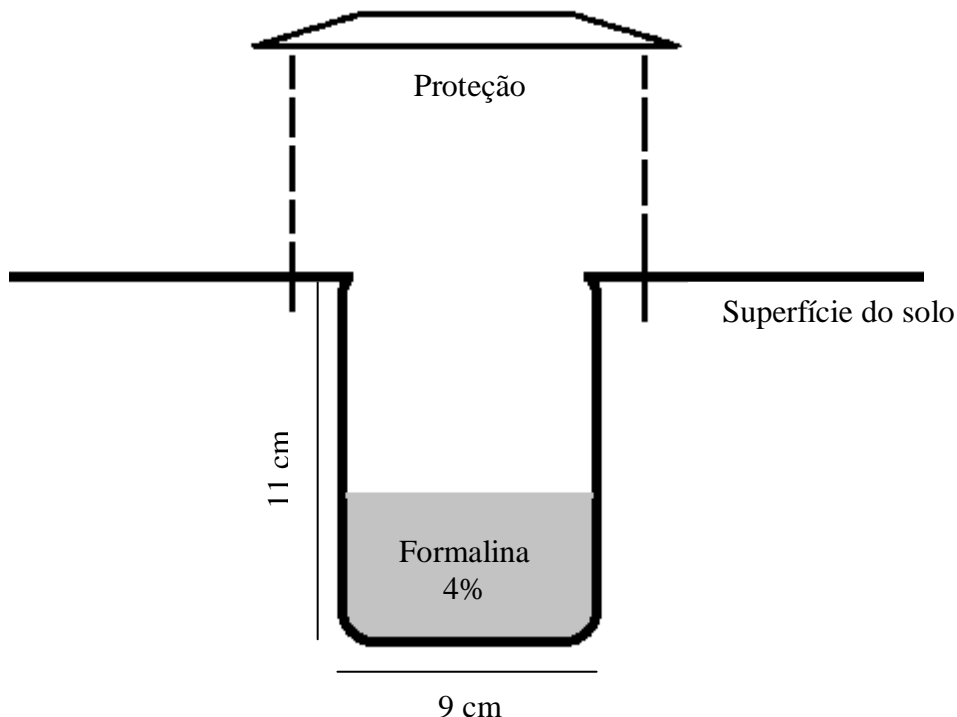
Em cada uma dos terços dos fragmentos foram coletadas seis amostras de solo (Figura 5), na profundidade de 0-5 cm com o auxílio de um trado, sendo retirados entre 500g a 1000g de solo, colocados em sacolas plásticas identificadas e levadas ao laboratório segundo a metodologia de Brundrett (1994) e Sieverding (1991). De cada amostra foram pesadas 50g de solo para as extrações dos esporos dos FMAs, segundo a técnica de peneiramento úmido (GERDEMANN & NICOLSON, 1963), complementada pela metodologia adaptada de centrifugação em gradiente de densidade utilizada para nematóides descrita por Jenkins (1964). Nesta metodologia, a amostra de solo é umedecida, desfazendo-se os agregados do solo manualmente. Após agitação, a suspensão é deixada em repouso por 30 segundos. Esta é submetida ao conjunto de peneiras sobrepostas (peneira de 0,42 mm sobre a de 0,053 mm). Este processo é repetido até que ao colocar água na suspensão, esta fique translúcida. A amostra então é centrifugada a 3000 rpm durante 3 minutos, sendo o sobrenadante descartado. Adiciona-se solução de sacarose 45%, agita-se a suspensão e se promove uma nova centrifugação a 2000 rpm durante 2 minutos. O material é vertido na peneira de 0,053 mm, eliminado o excesso de solução de sacarose em água corrente e armazenada a amostra de esporos em geladeira.

A contagem consistiu em verter toda amostra processada em uma placa de Petri canelada, sendo realizada a observação sob microscópio estereoscópico. Após a contagem, os esporos foram transferidos para uma placa de Petri. Estes foram agrupados pelas características de tamanho, cor e forma, e colocados em lâminas com álcool polivinil em lactoglicerol (PVLG) sob uma lamínula. Na mesma lâmina um segundo grupo de esporos foi submetido a uma mistura de PVLG+Reagente de Melzer (1:1) e quebrados mecanicamente, sob uma lamínula, para exposição das paredes internas. A reação de cor ao reagente de Melzer foi utilizada para caracterizar as paredes dos esporos. A identificação das espécies de FMAs foi feita segundo Schenck & Perez (1988) e segundo trabalhos de descrição das espécies identificadas após esta data e consultando o site da coleção internacional de FMAs <http://invan.caf.wvu.edu/>. As observações foram feitas em microscópio óptico com iluminação de campo-claro e objetiva de imersão. Os esporos foram identificados de acordo com a análise morfológica clássica. Os caracteres taxonômicos incluíram número e tipo de camadas das paredes dos esporos e sua reação ao reagente de Melzer; características das paredes internas, quando presentes; morfologia da hifa de sustentação do esporo; e variação da cor e tamanho dos esporos.

### **3.2.3 Comunidade de Collembola Epígeos**

A avaliação da atividade e diversidade de Collembola foram realizadas por armadilhas do tipo pitfall. Esta metodologia consiste de recipientes plásticos com 9 cm de diâmetro e 11 cm de altura, com líquido preservativo (formalina a 4%) enterrados no solo com a borda no nível da superfície, segundo a metodologia de Aquino et al., (2006) (Figura 7). Foram instaladas 6 armadilhas em linha por unidade amostral, distando 5 m entre si, que permaneceram no local por 7 dias (Figura 5). Em laboratório, o conteúdo dos recipientes foi transferido para frascos com álcool com concentração a 70%, com a finalidade de preservação

a longo prazo. Os Collembola foram triados nas subordens Entombryomorpha, Poduromorpha e Symphypleona. Além disso, estes foram separados em morfoespécies, de acordo com as características morfológicas encontradas na chave dicotômica de identificação de família, encontrado em Zeppelini Filho & Bellini (2004). As características visíveis em microscópio estereoscópico utilizadas para diferenciar cada morfoespécie estão detalhadas na Tabela 2.



**Figura 7.** Armadilha do tipo pitfall para coleta de Collembola.

**Tabela 2.** Características utilizadas para diferenciar as morfoespécies de Collembola (extraídas de Zeppelini Filho & Bellini (2004)).

Subordens	Características para diferenciar as morfoespécies
Entombryomorpha	Tagmose do corpo; número e fusão de segmentos, formato da antena; posição da cabeça em relação ao corpo; presença de escamas e cerdas; tamanho da fúrcula em relação ao corpo.
Poduromorpha	Formato e posição do aparelho bucal; número de segmentos e tamanho da antena.
Symphypleona	Formato e presença de apêndices da antena.

### 3.2.4 Dados do ambiente

A área de estudo é utilizada por um grupo de pesquisa que envolve diversas unidades da Embrapa, como Solos, Floresta e Agrobiologia, além de outras instituições. Assim foram utilizados dados de outros pesquisadores com a finalidade de caracterizar o ambiente e contrastar estes com os dados coletados, como da vegetação (número, dominância e densidade de espécies vegetais) e solo (pH, tipo de solo, densidade, porosidade e declividade) fornecido

pelo pesquisadores da Embrapa Florestas (Dr. Alexandre Uhlmann e Dr. Gustavo Ribas Curcio e suas respectivas equipes).

### 3.3 Análise dos Dados

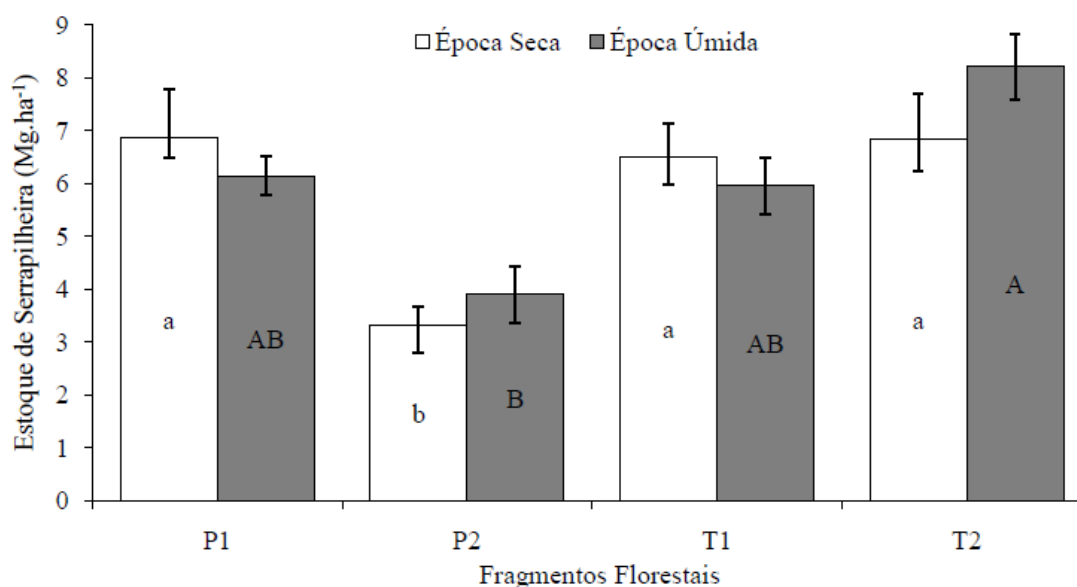
O peso da biomassa seca das frações da serrapilheira foram transformados de  $\text{g.m}^{-2}$  para  $\text{Mg.ha}^{-1}$ . O número de esporos de fungos micorrízicos foram transformados para a densidade esporos. $\text{g}^{-1}$  de solo. Além disso avalou-se a ocorrência relativa de espécies em relação aos fragmentos, utilizando como unidade as repetições. Os dados de Collembola resultantes de cada armadilha foram transformados em indivíduos/armadilha/por dia (atividade), o que permitiu calcular, entre outros, os índices de Shannon e Pielou a riqueza média e total.

Para a análise dos resultados foi realizada avaliação da homogeneidade das variâncias dos erros pelo Teste de Cochran e da normalidade pelo Teste de Lilliefors no software SAEG 9.1 (2007). Posteriormente, os dados paramétricos foram submetidos à análise de variância com aplicação do Teste t (Bonferroni) a 5 % de probabilidade no software SISVAR 5.3 (1999 – 2007). Os dados não paramétricos foram submetidos à análise de variância com a aplicação dos testes Wilcoxon e Kruskal-Wallis no software SAEG 9.1 (2007). Análises de correlação de Pearson foram realizadas no software SAEG 9.1 (2007). Além disso, foram realizadas análises multivariadas de componentes principais, utilizando os dados coletados de estoque de serrapilheira, fungos micorrízicos arbusculares e collembola, além dos dados do ambiente, para verificar a distância entre as comunidades estabelecidas nos diferentes compartimentos e (LEPS & SMILAUER, 2003). A avaliação dos indicadores ambientais da interface solo-serrapilheira será baseada na comparação do resultado da análise multivariada de componentes principais dos dados do ambiente com a mesma análise dos dados de cada indicador ambiental.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Estoque de serrapilheira

O estoque de serrapilheira nos fragmentos florestais foi  $6,0 \pm 0,3 \text{ Mg.ha}^{-1}$ , formado por 47,5% de folhas, 30,4% de ramos e cascas, 3,1% de material reprodutivo e 19,1% de restos. Na época seca os estoques de serrapilheira nos fragmentos P1 ( $6,9 \pm 0,9 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ), T2 ( $6,8 \pm 0,9 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ) e T1 ( $6,5 \pm 0,6 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ) foram maiores que no fragmento P2 ( $3,3 \pm 0,3 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ). Na época úmida o estoque de serrapilheira no fragmento T2 ( $8,2 \pm 0,6 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ) foi maior que no fragmento P2 ( $3,9 \pm 0,5 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ) e semelhante ao fragmento T1 ( $6,0 \pm 0,5 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ) e P1 ( $6,1 \pm 0,4 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ) (Figura 8).



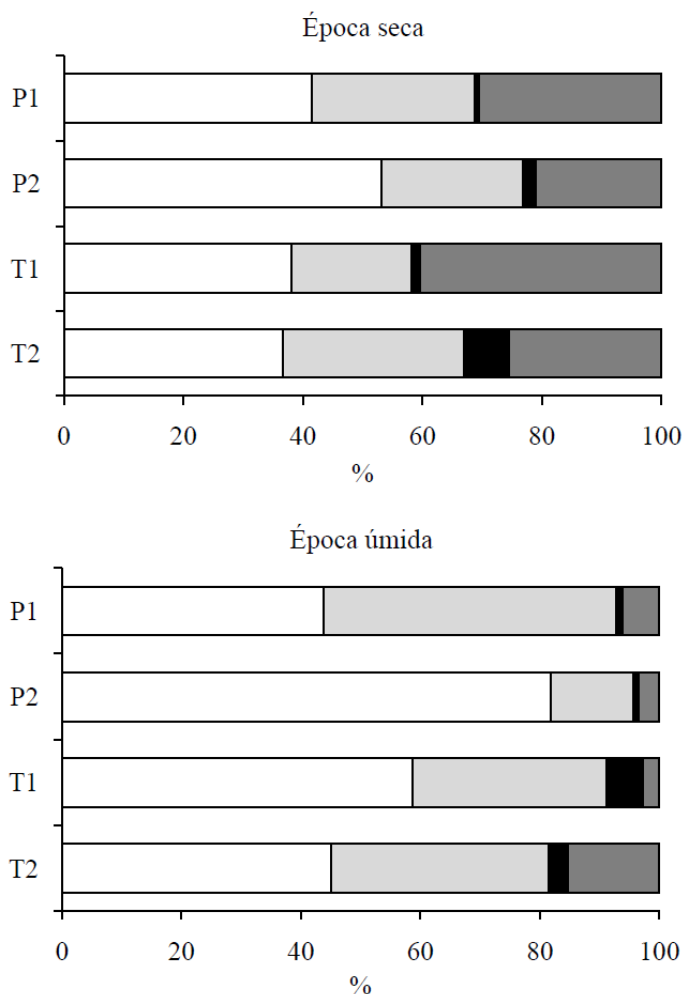
**Figura 8.** Estoque de serrapilheira nos fragmentos florestais nas épocas seca e úmida. Letras maiúsculas (época úmida) e minúsculas (época seca) semelhantes não diferem segundo o teste t (Bonferroni) a 5%. Itaboraí, RJ, 2011

Caldeira et al. (2007) avaliando o estoque de serrapilheira em General Carneiro – PR encontraram uma quantidade média de estoque de serrapilheira de 8,0 Mg.ha<sup>-1</sup> em fragmentos florestais secundários. Garcia et al., (2005) avaliaram o estoque de serrapilheira em diferentes áreas: uma área de recuperação com 13 anos e um fragmento florestal no município de Angra dos Reis, RJ, tendo encontrado na área de recuperação foi 10,3 Mg.ha<sup>-1</sup> e na área de floresta Nativa foi 5,0 Mg.ha<sup>-1</sup>. Santos & Valio (2002), avaliando o estoque de serrapilheira em Campinas – SP, encontraram uma quantidade de 25 Mg.ha<sup>-1</sup>. ano<sup>-1</sup>, considerado alto pelos autores.

Para Correia & Andrade (2008) a vegetação é a principal responsável pela variabilidade horizontal da serrapilheira, pois quanto mais diversa for a comunidade vegetal, mais heterogênea será a serrapilheira em pontos adjacentes. Quando se compara o estoque de serrapilheira dos fragmentos P1, T1 e T2 (considerados secundários médio), com o P2 (secundário inicial) pode-se constatar que o estoque de serrapilheira neste último apresenta menores valores em relação aos outros fragmentos florestais. Caldeira et al. (2008) avaliaram o estoque de serrapilheira em diferentes estádios sucessionais em Blumenau/SC, sendo eles os estádios inicial, intermediário e avançado de uma Floresta Ombrófila Densa. O estoque de serrapilheira no estágio inicial foi 4,5 Mg.ha<sup>-1</sup>, intermediário 5,0 Mg.ha<sup>-1</sup> e avançado 5,3 Mg.ha<sup>-1</sup>. De acordo com estes dados, quanto mais conservado o fragmento florestal maiores são as quantidades de serrapilheira. Entretanto, Leitão Filho et al. (1993) afirmaram que o estágio sucessionais da formação vegetal influi diretamente na produção de folheto, de tal modo que florestas maduras caracterizam-se por apresentar menos produção de serrapilheira que florestas em início de regeneração, já que estas últimas apresentam dominância de espécies pioneiras com o ciclo mais curto de vida, liberando assim suas estruturas com mais frequência.

No fragmento P1, na época úmida, houve predomínio das frações folhas e ramos e cascas que juntas representam 92,8% do total, sendo que na estação seca houve uma igualdade entre estas frações com a fração restos. No fragmento P2, nas épocas seca e úmida, há predomínio da fração folhas, representando 81,9% do total na segunda. No fragmento T1 na época seca houve o predomínio das frações folhas e restos, sendo que na estação úmida as

maiores porcentagens são representadas pelas frações folhas e ramos e cascas. As frações estão bem distribuídas no fragmento T2, na estação seca, e na estação úmida as frações folhas e ramos e cascas representam mais de 81,4% do total. (Figura 9).



**Figura 9.** Representatividade das frações da serrapilheira nos fragmentos florestais nas épocas seca e úmida.

Em relação à sazonalidade do estoque de serrapilheira, constatou-se que não há diferenças entre as épocas seca e úmida do ano para nenhum fragmento florestal estudado quando se considera a quantidade total de serrapilheira estocada. Porém ao analisar as frações da serrapilheira, é possível encontrar diferenças entre as épocas. No fragmento P1 houve diferença entre as épocas seca e úmida em relação à fração ramos e cascas ( $1,9$  e  $3,0 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ) e restos ( $2,1$  e  $0,4 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ). No fragmento P2 foram observadas diferenças entre as frações folhas ( $1,8$  e  $3,2 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ) e restos ( $0,7$  e  $0,1 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ). No fragmento T1 apenas a fração restos apresentou diferenças ( $2,6$  e  $0,2 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ), enquanto que no fragmento T2 apenas a fração ramos e cascas apresentou sazonalidade ( $2,1$  e  $3,0 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ). Com isso pode-se constatar que a sazonalidade nos fragmentos florestais é, com exceção do fragmento T2, representada pela fração restos.

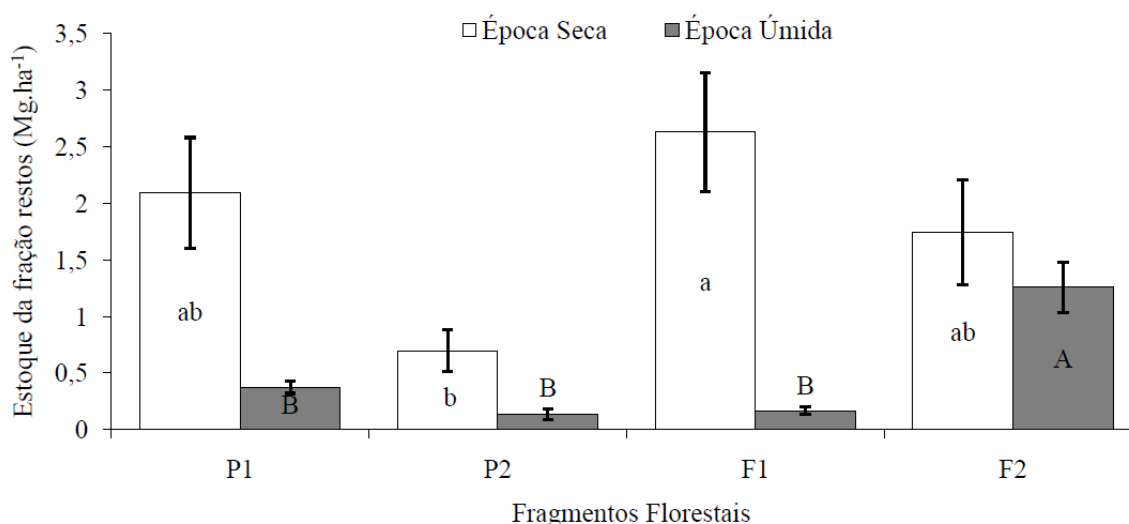
Sanches et al. (2009) realizaram um monitoramento mensal do estoque de serrapilheira em uma região de transição entre a floresta tropical úmida e o Cerrado, onde no final da época úmida o estoque de serrapilheira foi em média  $8,9 \text{ Mg.ha}^{-1}$  e ao final da época seca em média  $5,2 \text{ Mg.ha}^{-1}$ , apresentando assim sazonalidade. Porém Lima et al., (2010) em Esperantina-PI,

avaliaram o estoque de serrapilheira em fragmento florestal de 1 ha, nas épocas seca e úmida e constataram que não houve diferenças entre as épocas em relação às frações folhas e galhos.

Não houve um padrão de deposição em relação ao tamanho do fragmento. Quando se considera que o menor fragmento T2 (3 ha) apresentou maior quantidade de estoque do que o fragmento T1 (7 ha), embora esta diferença não seja significativa. Ao contrário, no proterozóico, o maior fragmento P1 (21 ha) apresentou maior quantidade em relação ao fragmento P2 (10 ha). Também, em nenhum caso, houve um padrão de aumento ou diminuição do estoque de serrapilheira em relação à borda do fragmento, sendo demonstrado divisão em terços do fragmento.

Segundo Brun et al. (2001) e Caldeira et al. (2008) fatores bióticos e abióticos podem influenciar na deposição de serrapilheira, tais como: tipo vegetacional, latitude, altitude, relevo, temperatura, precipitação, disponibilidade de luz durante a estação de crescimento, fotoperíodo, evapotranspiração, deciduidade, estágio sucessional, herbivoria, disponibilidade hídrica e estoque de nutrientes no solo. A deposição de serrapilheira é o resultado da interação destes fatores e, conforme as peculiaridades de cada sistema, um fator pode prevalecer sobre os demais. Houve, neste trabalho, correlações significativas entre a quantidade total de serrapilheira estocada e o número de espécies vegetais (0,64;  $p > 0,05$ ), a dominância das espécies vegetais (0,69;  $p > 0,05$ ), declividade (-0,62;  $p > 0,05$ ) e pH do solo (-0,54;  $p > 0,05$ ).

Garay & Kindel, (2001) enfatizam a importância do processo de decomposição, argumentando que o acúmulo de folhiço sobre o solo em fragmentos secundários é uma consequência da menor velocidade de decomposição. Ao longo do processo de decomposição, a serrapilheira é triturada, transformando-se em um material amorfo e com poucos nutrientes. Sendo assim, quando se compara a quantidade e qualidade da fração restos entre os fragmentos florestais, pode-se fazer inferências em relação ao seu grau de conservação. Na área de estudo, a fração restos mostrou diferenças entre épocas seca e úmida para os fragmentos P1 (2,1; 0,4 Mg.ha<sup>-1</sup>), P2 (0,7; 0,1 Mg.ha<sup>-1</sup>) e T1 (2,6; 0,2 Mg.ha<sup>-1</sup>). Esta fração também foi a única a revelar alguma diferença entre os fragmentos florestais, como mostrado na Figura 10.



**Figura 10.** Quantidade média da fração restos nos fragmentos florestais, nas épocas seca e úmida. Letras maiúsculas (época úmida) e minúsculas (época seca) semelhantes não diferem segundo o teste t (Bonferroni) a 5%.

A decomposição da matéria orgânica pode ser dividida em três processos básicos que ocorrem simultaneamente: lixiviação (retirada de material solúvel pela ação da água da

chuva), intemperismos (ruptura mecânica dos detritos) e ação biológica (fragmentação gradual e oxidação dos detritos pelos organismos vivos) (HAAG, 1985). Considerando que os fragmentos florestais estudados estão sujeitos às mesmas condições meteorológicas, as diferenças encontradas na fração restos entre os fragmentos florestais podem ser explicadas pela diferente ação decompositora da biota do solo, pela composição florística e os estágios de regeneração.

#### 4.1.1 Macronutrientes e carbono

Nos fragmentos florestais estudados, a concentração média de macronutrientes ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) seguiu a seguinte ordem:  $\text{N} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} > \text{P}$ . Segundo Haag (1985) há uma tendência do nitrogênio ocorrer em maior concentração, seguido pelo cálcio, potássio, magnésio e fósforo. Caldeira et al., (2008) avaliaram os nutrientes no estoque de serrapilheira em três estágios sucessionais (inicial, médio e avançado) no município de Blumenal-SC. Segundo os autores, independente do estágio sucessional, a serrapilheira acumulada foi a principal via de transferência de N, Ca e Mg para o solo. A Tabela 3 apresenta os valores encontrados em cada fração da serrapilheira analisada em cada um dos fragmentos florestais estudados.

**Tabela 3.** Concentração dos macronutrientes, carbono e a relação C/N nas frações do estoque de serrapilheira em cada fragmento florestal. Médias de 18 repetições. Letras minúsculas (comparação entre frações no mesmo fragmento) e maiúsculas (comparação da mesma fração entre fragmentos) semelhantes não diferem segundo o teste t (Bonferroni) a 5%.

	Ca	K	Mg	N	P	C	C/N
$\text{g.kg}^{-1}$							
P1							
folhas	7,3aA	0,9aA	3,7aA	20,1aA	0,6aA	463,2aAB	24,7abC
ramos e cascas	7,8aA	0,6bAB	2,5bA	16,2bA	0,5bA	492,6aA	31,1aB
restos	4,9bA	0,5bA	2,2bA	16,6bA	0,5bA	292,5bA	18,7bB
P2							
folhas	7,3aA	0,6aB	2,1aBC	11,6aC	0,5aB	441,4bB	38,7bA
ramos e cascas	5,01bB	0,5aAB	1,1bC	8,9bB	0,5aA	511,4aA	61,5aA
restos	3,8bAB	0,4aB	0,7cB	6,2cC	0,5aAB	259,9cB	43,2bA
T1							
folhas	7,5aA	0,6aB	2,8aB	16,7aAB	0,6aA	513,0aA	30,8bB
ramos e cascas	5,7bAB	0,4bB	1,7bB	15,3aA	0,4bA	527,2aA	34,7abB
restos	3,0cBC	0,3cB	1,0bB	9,4bB	0,4bB	348,2aAB	43,2aA
T2							
folhas	3,7bB	0,7aAB	1,9aC	19,0aAB	0,5aB	494,6aAB	26,7aBC
ramos e cascas	5,0aB	0,7aA	1,7aB	16,1bA	0,4aA	528,7aA	33,0aA
restos	2,2cC	0,6aA	1,0bB	12,2cB	0,4aAB	296,3bAB	25,5aB

No fragmento P1 a fração folhas apresentou, no geral, maiores concentrações de macronutrientes em relação às outras frações. Apenas o cálcio foi semelhante com a fração ramos e cascas. A quantidade de carbono foi menor na fração restos. No fragmento P2, quando comparadas as frações, observou-se que as folhas apresentaram as maiores concentrações de macronutrientes, exceto para fósforo e potássio. O maior teor de carbono



neste fragmento, foi observado na fração ramos e cascas, assim como a relação carbono/nitrogênio. No fragmento florestal T1, semelhante aos outros, a fração folhas apresentou as maiores concentrações de macronutrientes. No fragmento P2 a fração folhas apresentou as maiores concentrações de magnésio e nitrogênio. Neste fragmento florestal a concentração de carbono na fração restos foi menor que as outras frações.

De modo geral, não foram encontradas diferenças entre os terços dos fragmentos e entre as épocas do ano. De maneira semelhante Borém & Ramos (2002) promoveram a análise química do estoque de serrapilheira no município de Silva Jardim, Rio de Janeiro, onde selecionaram duas toposequências de Mata Atlântica, uma pouco alterada e a outra em estágio de regeneração inicial. Estas foram divididas nos terços inferior, médio e superior. Além disso, efetuou coletas na época seca e úmida do ano. As autoras não encontraram diferenças entre as toposequências em relação ao peso da matéria seca, nem em relação ao cálcio para as diferentes épocas do ano. Diferente do encontrado nos fragmentos florestais estudados, os autores encontraram diferenças na época do ano para os macronutrientes magnésio, potássio, além do carbono, sendo o maior teor no período seco.

A maior concentração de macronutrientes na fração folhas da serrapilheira, por apresentar pequena variação em sua distribuição espacial, em seu conteúdo de nutrientes, e por ser a responsável pela maior parte da transferência anual de nutrientes ao solo, torna-se a fração mais adequada para comparação entre ecossistemas florestais, no tocante à eficiência de seus componentes vegetais na utilização de nutrientes (SELLE, 2007). Sendo assim pôde-se verificar que a concentração de cálcio encontrada nesta fração foi menor no fragmento florestal T2. A concentração de potássio nos fragmentos florestais P2 e T1 foram menores que no fragmento P1. O magnésio e o nitrogênio apresentaram as maiores concentrações no fragmento P1. Os fragmentos P1 e T1 foram semelhantes em relação à concentração de fósforo, sendo diferentes dos fragmentos P2 e T2.

Quantidades significativas de nutrientes e carbono orgânico podem retornar ao solo através da queda de componentes senescentes da parte aérea das plantas e posterior decomposição. Portanto, a serrapilheira é considerada como a principal via de transferência de carbono orgânico para o solo, tornando assim importante a sua quantificação (CALDEIRA et al., 2008). Analisando as frações folhas e ramos e cascas, nas áreas de estudo, o fragmento florestal T1 apresentou as maiores concentrações de carbono, sendo as menores concentrações encontradas no fragmento P2.

A serrapilheira é a principal fonte de nutrientes em ecossistemas de floresta tropical, iniciando o ciclo dos nutrientes pela entrada de alimento na cadeia alimentar dos decompositores (MARTIUS et al., 2004). Taylor et al., (1989) defendem a teoria de que a relação C/N seria o melhor parâmetro para estimar as taxas de decomposição. Este fato explica os menores valores de C/N encontrados na fração restos dos fragmentos florestais (com exceção do fragmento T1) e os maiores valores na fração ramos e cascas nos fragmentos florestais. Além disso, a análise da relação C/N na fração folhas permite diferenciar os fragmentos florestais estudados, sendo o maior valor encontrado no fragmento florestal P2. Ou seja, a relação C/N pode ser considerado um bom indicador de qualidade da serrapilheira, que neste caso foi capaz de evidenciar diferenças entre as frações e entre fragmentos.

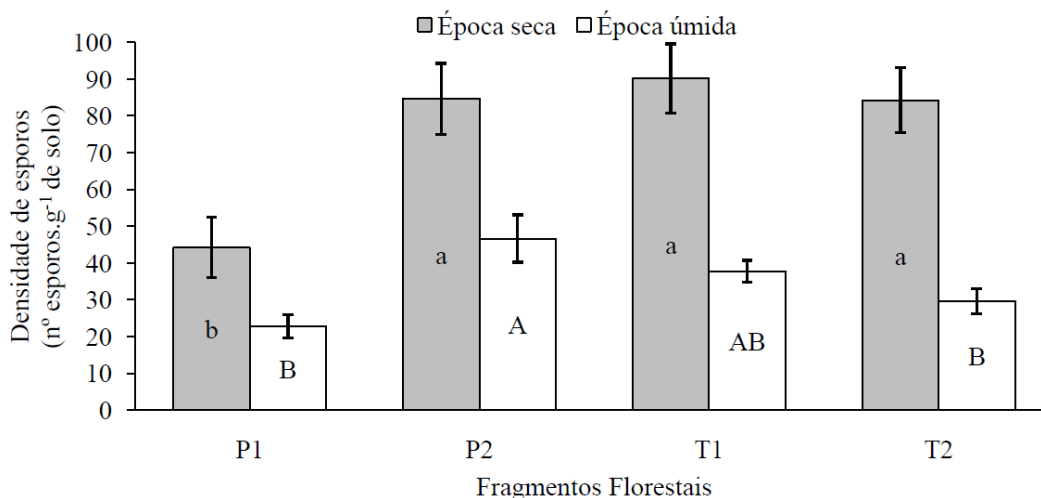
Algumas correlações entre as concentrações de macronutrientes encontrados nas folhas com o peso das raízes finas secas foram significativas e demonstram o papel da serrapilheira como fornecedora direta de nutrientes para as plantas. Assim, quanto maior a concentração de potássio ( $r = 0,80$ ;  $p > 0,05$ ), fósforo ( $r = 0,74$ ;  $p > 0,05$ ), nitrogênio ( $r = 0,82$ ;  $p > 0,05$ ) e magnésio ( $r = 0,78$ ;  $p > 0,05$ ) das folhas, maior a quantidade de raízes finas associadas ao estoque de serrapilheira.

A proliferação de raízes finas na camada da superfície orgânica do solo no ecossistema florestal é vista como uma estratégia para adquirir nutrientes em solos inférteis, nos quais há

limitação de nutrientes. Isso é muito importante em florestas tropicais, onde a maioria dos solos são altamente intemperizados, e a camada de raízes, frequentemente, desenvolve-se dentro da camada orgânica para captura, ao longo do ano, de nutrientes produzidos pela decomposição da matéria orgânica (LACLAU et al., 2004). As raízes finas também apresentaram correlações significativas com dados da vegetação (Uhlman et al., 2012, no prelo), como número total de indivíduos arbóreos na área ( $r = 0,70$ ) e densidade de indivíduos arbóreos ( $r = 0,63$ ).

#### 4.2 Comunidade de Fungos Micorrízicos Arbusculares

Nos fragmentos florestais estudados, a densidade média de esporos de fungos micorrízicos, na época seca, foi semelhante entre os fragmentos P2 (84,6 esporos.g<sup>-1</sup> de solo), T1 (90,2 esporos.g<sup>-1</sup> de solo) e T2 (84,3 esporos.g<sup>-1</sup> de solo), e menor no fragmento P1 (44,2 esporos.g<sup>-1</sup> de solo). Na época úmida o fragmento florestal P2 (46,7 esporos.g<sup>-1</sup> de solo) apresentou maior densidade de esporos que o fragmento T2 (29,6 esporos.g<sup>-1</sup> de solo) e P1 (22,8 esporos.g<sup>-1</sup> de solo). O fragmento T1 (37,8 esporos.g<sup>-1</sup> de solo) foi semelhante aos outros fragmentos, como mostrado na Figura 11. Em todos os fragmentos florestais, a densidade média de esporos na época seca foi maior que na época úmida. Em relação a densidade de esporos, não houve diferenças entre os terços para nenhum dos fragmentos florestais avaliados. Além disto, não foi observada relação entre a densidade de esporos com o tamanho do fragmento florestal.



**Figura 11.** Densidade de esporos nos fragmentos florestais, nos períodos seco e úmido. Letras minúsculas (época seca) e maiúsculas (época úmida) semelhantes não diferem segundo o teste t (Bonferroni) a 5%.

A densidade de esporos encontrados nos fragmentos florestais estudados são superiores aos encontrados por Silva et al., (2006), que avaliaram áreas com diferentes usos do solo. Os autores verificaram que em área de capoeira (com 40 anos) foram encontrados 5,3 esporos.g<sup>-1</sup> de solo e em área de floresta secundária 4,4 esporos.g<sup>-1</sup> de solo, não tendo também encontrado diferenças entre as estações do ano para a densidade de esporos. Segundo Zangaro & Moreira (2010) a abundância dos esporos e a colonização das raízes por fungos MA, de maneira geral, tem sido maior nos ambientes que se encontram nos estádios iniciais da sucessão do que nos ambientes com sucessão mais avançada e na floresta climax. Além disso, Sturmer et al., (2006) avaliando a ocorrência de FMA em áreas de pasto, capoeirão (40 anos) e capoeirinha (12 anos) em São Pedro de Alcântara, SC, constataram que a área de

capoeirinha apresentou maior número de esporos que na área de capoeirão (considerado melhor conservado). Considerando que o fragmento florestal P1 é o mais conservado e que apresentou menor densidade de esporos, esta afirmação corrobora com os dados destes autores.

A menor densidade de esporos de FMA e a maior riqueza de espécies, encontradas na floresta primária, podem ser consequência da sua maior estabilidade, menor competição por nichos (guildas), dando garantia da sobrevivência das espécies com baixa esporulação. Pode se considerar também a presença de uma biota micófaga mais ativa ou a predominância de espécies não pioneiras (espécies K), que não induzem grandes esporulações (Sieverding, 1991; Caproni et al., 2003).

Na época seca, o fragmento P1 apresentou quatorze espécies de FMAs, o fragmento P2 nove espécies, o fragmento T1 doze espécies e o fragmento T2 doze espécies. Na época úmida o fragmento P1 apresentou nove espécies, o fragmento P2 nove espécies, o fragmento T1 nove espécies e o fragmento T2 nove espécies. Assim na época seca foi encontrada uma maior riqueza de espécies em comparação à época úmida, como mostrado na Tabela 4.

**Tabela 4.** Espécies de Fungos Micorrízicos Arbusculares encontradas por fragmento florestais nas épocas do ano estudadas. S = época seca; U = época úmida.

Espécies de FMAs encontrados nos fragmentos florestais.	P1	P2	T1	T2
<i>Acaulospora foveata</i> Trappe & Janos	SU	U	SU	SU
<i>Acaulospora laevis</i> Gerdemann & Trappe	SU	SU	SU	SU
<i>Acaulospora mellea</i> Spain & Schenck	SU	SU	S	SU
<i>Acaulospora scrobiculata</i> Trappe	S	-	S	-
<i>Acaulospora tuberculata</i> Janos & Trappe	S	-	-	-
<i>Acaulospora undulata</i> Sieverding	S	-	-	-
<i>Acaulospora</i> sp.	S	-	-	S
<i>Archaeospora leptoticha</i> (Schenck & Smith) Morton & Redecker	SU	SU	SU	SU
<i>Entrophospora colombiana</i> Spain & Schenck.	-	-	S	-
<i>Entrophospora</i> sp.	S	S	S	S
<i>Gigaspora</i> sp.	SU	SU	U	SU
<i>Glomus etunicatum</i> Becker & Gerdemann	-	-	U	-
<i>Glomus lamellosum</i> Dalpe, Koske & Tews	-	SU	S	S
<i>Glomus macrocarpum</i> Tulasne & Tulasne	SU	SU	SU	SU
<i>Glomus microcarpum</i> Tulasne & Tulasne	-	-	-	U
<i>Glomus tenebrosum</i> (Thaxter) Berch,	U	U	U	U
<i>Glomus tortuosum</i> Schenck & Smith	-	-	SU	S
<i>Glomus</i> sp.	SU	SU	S	S
<i>Scutelospora calospora</i> (Nicol. & Gerd.) Walker & Sanders	-	S	-	S
<i>Scutelospora cerradensis</i> Spain & Miranda.	S	-	-	-
<i>Scutelospora fulgida</i> Koske & Walker	U	-	-	-
<i>Scutelospora persica</i> (Koske & Walker) Walker & Sanders	-	-	U	-
<i>Scutelospora verrucosa</i> (Koske & Walker) Walker & Sanders	-	-	S	S
<i>Scutelospora</i> sp.	S	-	-	-

Segundo Zangaro & Moreira (2010) em áreas clímax de Floresta Atlântica a diversidade de espécies de fungos MA tende a ser maior quando comparada com áreas de floresta secundária e mostra ser maior ainda em relação às áreas abertas e mais estressadas. Na área de estudo foram encontradas sete espécies do gênero *Acaulospora*, sete do gênero *Glomus*, uma do *Archaeospora*, duas do *Entrophospora*, uma do *Gigaspora* e seis espécies do gênero *Scutelospora*. Aidar et al., (2004) avaliando três diferentes formações vegetais em Ribeira do Iguape, SP, encontraram uma clara sazonalidade, com uma maior quantidade de esporos na estação úmida, o que difere do encontrado na área de estudo. Porém o número de espécies por gênero foi semelhante, sendo o gênero *Acaulospora* o mais diverso, com treze espécies, seguido pelo gênero *Glomus*, com onze espécies.

Santos & Carrenho (2011) avaliando uma floresta estacional semidecidual no município de Maringá, PR registraram a ocorrência de cinquenta espécies, sendo trinta e uma espécies de *Glomus*, dez de *Acaulospora*, seis de *Scutelospora*, duas de *Gigaspora* e uma de *Paraglomus*. Embora a quantidade de espécies de *Glomus* seja muito superior à encontrada neste estudo, há uma semelhança em relação à dominância dos gêneros *Glomus* e *Acaulospora*. A dominância de um ou mais gêneros de fungos MA em determinado ambiente pode ser o resultado da interação de alguns fatores do ambiente, como: as características físicas e químicas do solo, as características morfológicas e fisiológicas das plantas, a compatibilidade genética das espécies de fungos e plantas que ocorrem no local, a dispersão dos fungos e a extinção de algumas espécies do local (ZANGARO & MOREIRA, 2010; SILVA et al., 2008).

Entre os fragmentos florestais estudados houve diferenças na porcentagem de ocorrência das principais espécies, em relação aos pontos de coleta, como mostrado na Tabela 5. Além disso, não houve registro da espécie *Glomus lamellosum* no fragmento P1, enquanto que no P2 esta espécie ocorreu em 44,4% das amostras. Comparando-se as duas épocas, pode-se notar que a ocorrência do gênero *Acaulospora* na época úmida foi maior que na época seca. Além disso há o registro de certas espécies em uma época e completa ausência em outra em alguns fragmentos florestais, como *Acaulospora mellea* no fragmento T2 e *Acaulospora foveata* no fragmento P2. Deve-se também destacar a presença da espécie *Glomus macrocarpum* em todos os fragmentos e épocas. Diferenças na esporogênese e morfologia dos esporos (cor, tamanho, estrutura e espessura das paredes) podem ter contribuído para a predominância do gênero *Glomus*. Além disso, a velocidade de germinação, o crescimento do tubo de germinação e formação de unidades de infecção são características importantes no processo de competição interespecífica (CARRENHO & SANTOS, 2011).

**Tabela 5.** Ocorrência relativa de FMA nos fragmentos florestais nas épocas seca e úmida.

Ocorrência de espécies de FMAs (%)				
	P1	P2	T1	T2
Época seca				
<i>Glomus macrocarpum</i>	100,0	100,0	100,0	100,0
<i>Acaulospora mellea</i>	55,6	55,6	55,6	50,0
<i>Acaulospora laevis</i>	38,9	27,8	33,3	22,2
<i>Acaulospora foveata</i>	27,8	0,0	38,9	16,7
<i>Glomus lamellosum</i>	0,0	44,4	22,2	27,8
<i>Archaeospora leptoticha</i>	16,7	11,1	22,2	5,6
Época úmida				
<i>Glomus macrocarpum</i>	100,0	100,0	100,0	100,0
<i>Acaulospora mellea</i>	33,3	22,2	27,8	0,0
<i>Acaulospora laevis</i>	38,9	77,8	44,4	61,1
<i>Acaulospora foveata</i>	61,1	44,4	33,3	33,3
<i>Archaeospora leptoticha</i>	38,9	44,4	55,6	38,9
<i>Gigaspora sp.</i>	38,9	11,1	27,8	33,3

Segundo Carrenho & Santos (2011) espécies consideradas raras ou de baixa frequência, tendo como base dados de abundância de esporos, podem estar no ambiente em outras formas como hifas, raízes colonizadas e células auxiliares e a ausência de esporos não indica, necessariamente, ausência de colonização radicular e, conseqüentemente, não participação na associação simbiótica. Assim a época do ano pode ser determinante na presença de esporos no solo para determinadas espécies. Este fenômeno pode ser determinado pela maior necessidade nutricional e hídrica das plantas em certas épocas do ano, estimulando a esporulação dos FMAs.

A formação da associação micorrízica depende de fatores ambientais, fisiologia do hospedeiro, microorganismos do solo e quantidade e composição de fungos micorrízicos (ZANGARO et al., 2000). Assim foram encontradas correlações dos FMAs com a vegetação, macronutrientes das frações folhas e ramos e cascas da serrapilheira estocada e com outros parâmetros, como mostrado na Tabela 6.

**Tabela 6.** Correlações entre a densidade de FMA e fatores do ambiente nas épocas seca e úmida.

Correlação de Pearson ( $p > 0,05$ )	Densidade de FMA	
	Época Seca	Época Úmida
Vegetação		
Número espécies	-	-0,67
Dominância Vegetação Ind.ha <sup>-1</sup>	-0,50	-0,74
Número de indivíduos	-0,54	-
	-0,73	-0,53
Macronutrientes das folhas da serrapilheira		
Potássio	-0,63	-
Magnésio	-0,55	-0,58
Nitrogênio	-	-0,58
Fósforo	-0,53	-
Relação C.N <sup>-1</sup>	0,51	0,73
Macronutrientes de ramos e cascas da serrapilheira		
Cálcio	-0,68	-0,63
Potássio	-0,55	-0,58
Magnésio	-0,78	-0,73
Nitrogênio	-0,54	-0,66
Fósforo	-0,65	-0,73
Carbono	-	-0,62
Relação C.N <sup>-1</sup>	-	0,77
Outros parâmetros		
Peso de ramos e cascas secos	-0,51	-0,70
Peso de raízes finas secas	-0,75	-

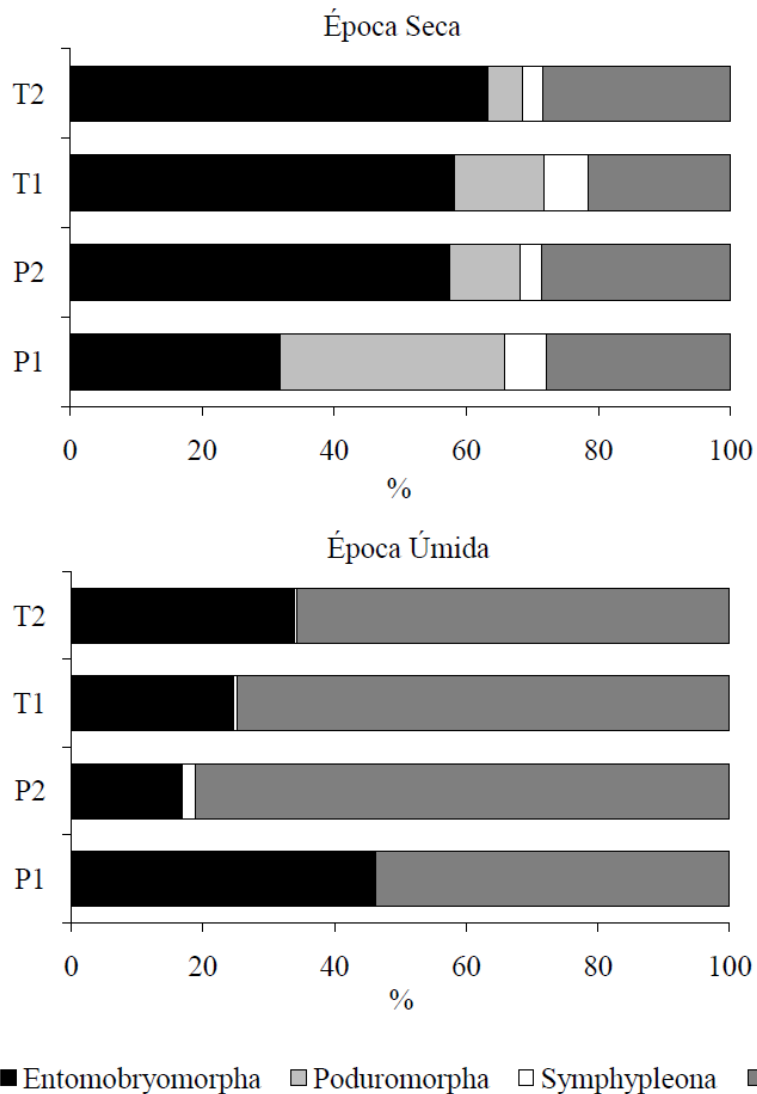
As correlações negativas encontradas entre a densidade de FMA e a vegetação mostram que quanto mais complexa a estrutura e fisionomia da vegetação, menores as quantidades de esporos encontrados no solo. Corroborando com esta afirmação, Zangaro et al., (2008) estabeleceram que o número de esporos e a colonização de raízes decrescem com o progresso sucessional e profundidade do solo, sendo maiores em áreas de pasto e florestas secundárias e menores em florestas climax. Para Zangaro & Moreira, (2010) as espécies que pertencem às fases iniciais da sucessão (pioneiras e secundárias iniciais) apresentaram elevada colonização e resposta, enquanto as espécies das fases tardias (secundárias tardias e climax) mostraram baixa colonização e resposta as MA.

Quando se relacionam os dados de macronutrientes da serrapilheira e densidade de fungos micorrízicos, encontram-se correlações negativas. Sabe-se que as micorrizas arbusculares são importantes para a regeneração de matas tropicais em áreas degradadas, geralmente caracterizadas por solos com deficiência de nutrientes, principalmente N e P (POUYU-ROJAS et al., 2006). Assim, com solos inférteis, as plantas necessitam adotar estratégias de aquisição de nutrientes. Segundo Reis et al. (2010) os fungos micorrízicos tem pouca ou nenhuma capacidade saprofítica, por isso não competem diretamente com os outros microorganismos da rizosfera por nutrientes, nos primeiros estádios da colonização da raiz. Sendo assim, a busca por nutrientes pelas plantas deve ser feito através da emissão de raízes

finas, como citado anteriormente (LACLAU et al., 2004) e constatado pela alta correlação com o peso da matéria seca de raízes finas, na estação seca. Apoiado nisso Zangaro et al. (2008) aponta que em estágios mais avançados de sucessão, a alteração na arquitetura da raiz, como aumento do diâmetro e diminuição do comprimento, incidem negativamente na colonização por fungos micorrízicos. Assim torna-se desnecessária para a planta a manutenção da simbiose com os fungos micorrízicos quando a maior fonte de nutrientes necessários para seu desenvolvimento se encontra no material depositado sobre o solo.

### 4.3 Comunidade de Collembola Epígeos

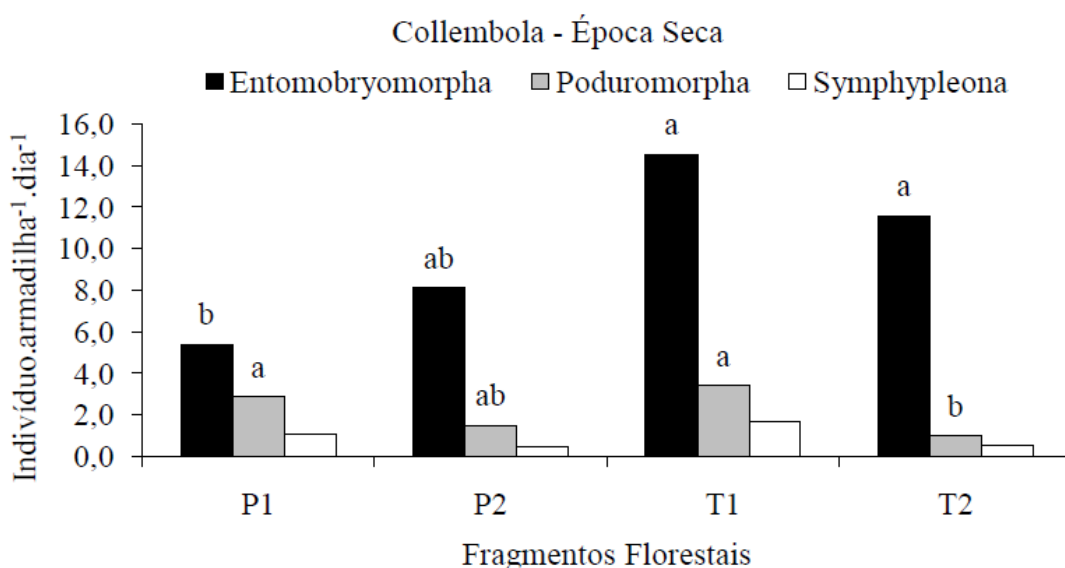
A proporção da atividade da ordem collembola em relação aos outros grupos da fauna do solo, na época seca, representa mais de 70% em todos os fragmentos florestais. Já na época úmida a representatividade deste grupo é menos expressiva (Figura 12). Fernandes et al., (2011) avaliando a fauna do solo em diferentes épocas do ano, constatou que houve diferenças no predomínio de grupos taxonômicos, sendo que Collembola foi o principal grupo no verão e outono.



**Figura 12.** Representatividade da atividade da subordens de Collembola nas épocas do ano em relação aos outros grupos da mesofauna do solo.

Na época seca, a atividade da ordem collembola nos fragmentos P1 (9,3), P2 (10,1), T1 (19,6) e T2 (13,1) foram semelhantes. Considerando as subordens, nos fragmentos T1 (14,5) e T2 (11,6) a atividade de Entomobryomorpha foi maior que no fragmento P1 (5,4) e semelhante ao fragmento P2 (8,1). Para Poduromorpha a menor atividade ocorreu no fragmento T2 (1,0), sendo as maiores nos fragmentos P1 (2,9) e T1 (3,4), como mostrado na Figura 13. Não houve diferença para Symphypleona. Não houve diferenças entre os terços para nenhum fragmento florestal.

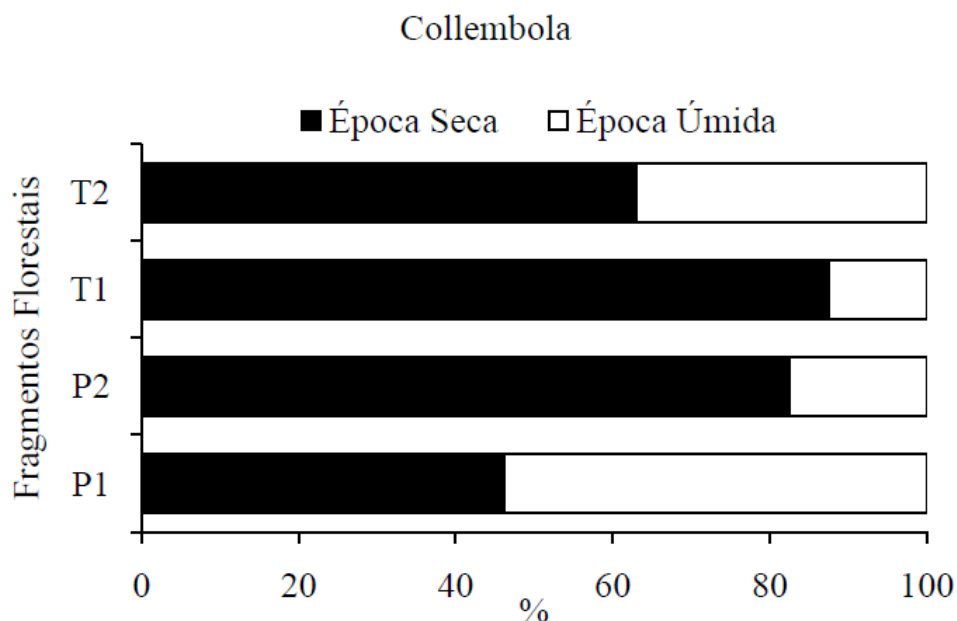
Na época úmida a atividade dos Collembola foi predominantemente de indivíduos da subordem Entomobryomorpha devido à baixa ou nula ocorrência de Poduromorpha e Symphypleona. Sendo assim, para a comparação entre fragmentos florestais, foi considerada somente a época seca. No fragmento P1 (10,8) houve a maior atividade deste grupo em relação aos fragmentos P2 (1,9) e T1 (2,7), sendo semelhante ao fragmento T2 (7,6).



**Figura 13.** Atividade das subordens de Collembola nos fragmentos florestais na época seca. Letras iguais não diferem segundo o teste Kruskal-Wallis, a 5%.

Em relação à sazonalidade, a atividade da ordem collembola no fragmento P1 não diferiu entre as épocas seca e úmida (Figura 14). Porém, quando considerou-se as subordens deste fragmento, todos os grupos apresentaram diferenças entre as épocas. O mesmo ocorre para os demais fragmentos florestais, sendo mais evidentes as diferenças de atividade nos fragmentos P2 e T1. Segundo Arbea & Blasco-Zumeta (2001) os colêmbolos são muito sensíveis a variações nas condições ecoclimáticas.



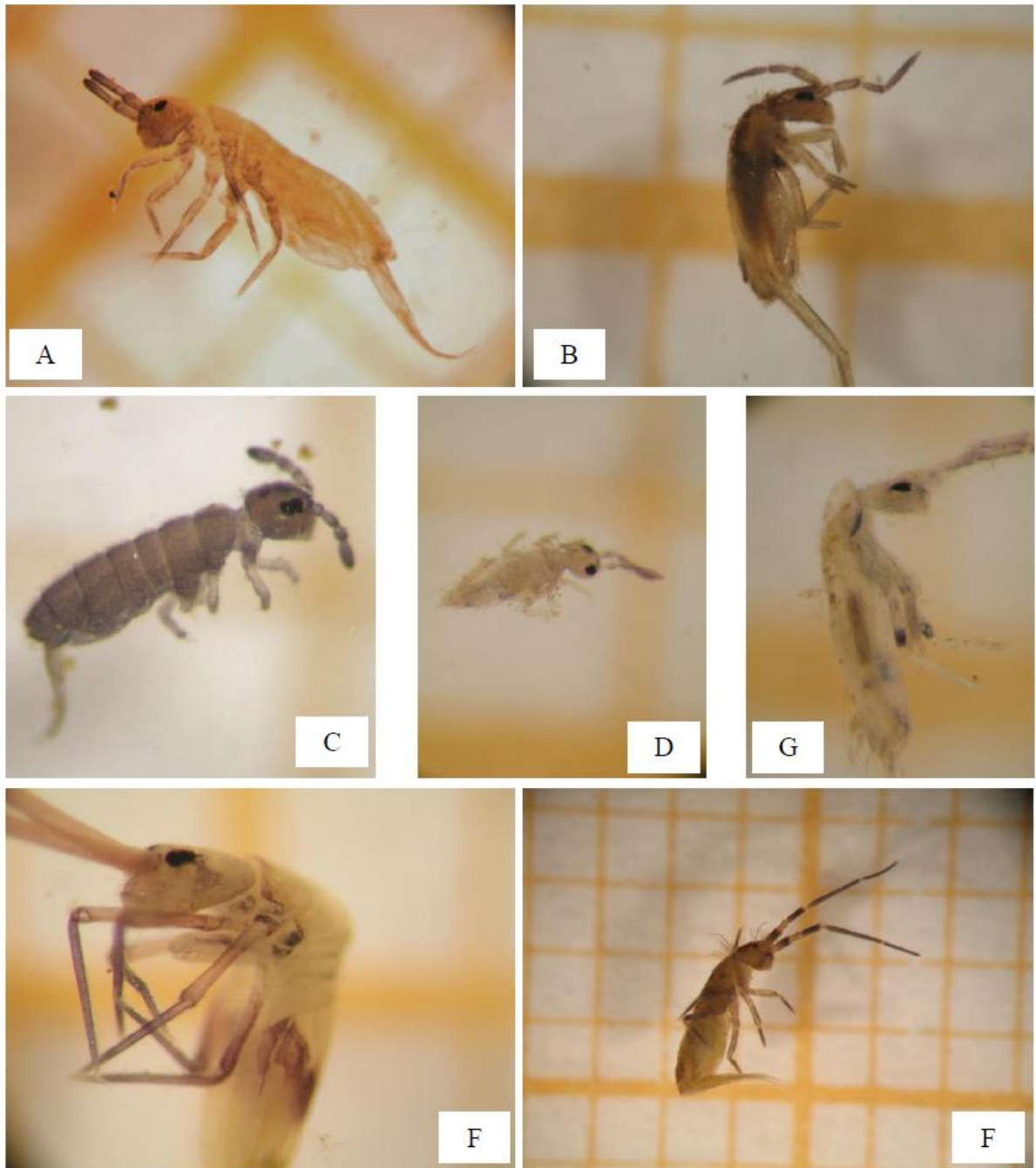


**Figura 14.** Comparação da atividade de Collembola nos fragmentos florestais nas épocas seca e úmida

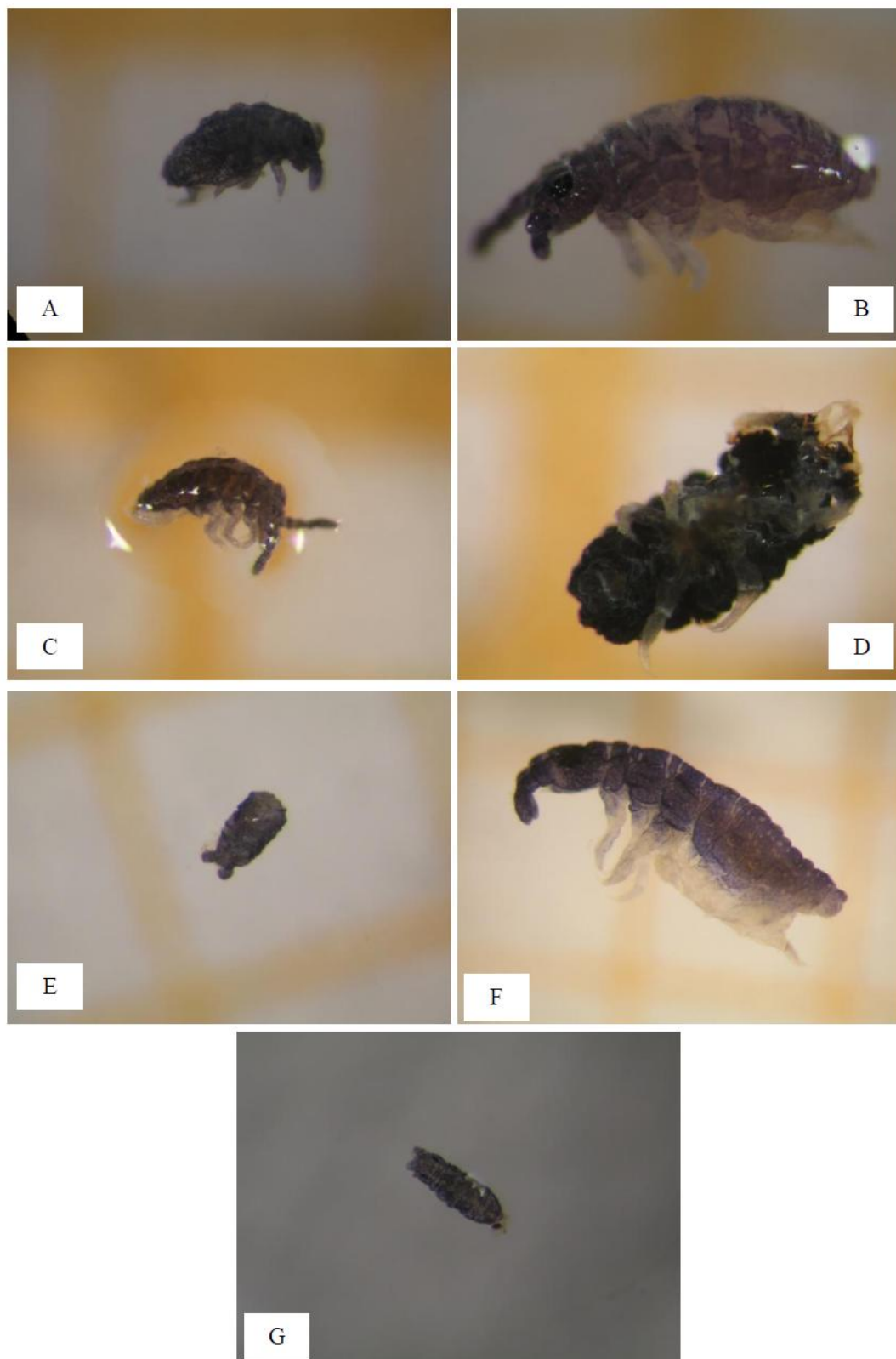
Segundo Zeppelini et al. (2009) as variáveis de vegetação e todos os fatores que afetam a disponibilidade da matéria orgânica são positivamente correlacionados com o número de indivíduos e espécies de Collembola. Muitas espécies epigeicas, hemiedáficas e eudáficas degradam e fragmentam matéria orgânica morta, incluindo folhas. Muitas espécies esqueletizam as folhas, assim como outras espécies se alimentam de partes degradadas da matéria orgânica ou excrementos de outros animais da fauna (RUSEK, 1998). Na época seca, houve correlações significativas entre as subordens Poduromorpha e Symphypleona com os macronutrientes cálcio (0,69; 0,60), magnésio (0,54; 0,58) e fósforo (0,64; 0,60) da fração folhas, respectivamente. Além disto, ambos os grupos apresentaram correlação com o fósforo (0,57; 0,77) da fração restos, respectivamente.

A subordem Entomobryomorpha apresentou correlação com os FMAs, tanto na época seca (0,72) quanto na época úmida (-0,76). Os colêmbolos participam da atividade microbiana do solo de diferentes modos: fracionam e trituram os restos vegetais; participam diretamente da formação de substâncias húmicas, que formam agregados complexos, e se encontram intimamente ligados à matéria orgânica; participam no controle e dispersão de microorganismos (ARBEA & BLASCO-ZUMETA, 2001).

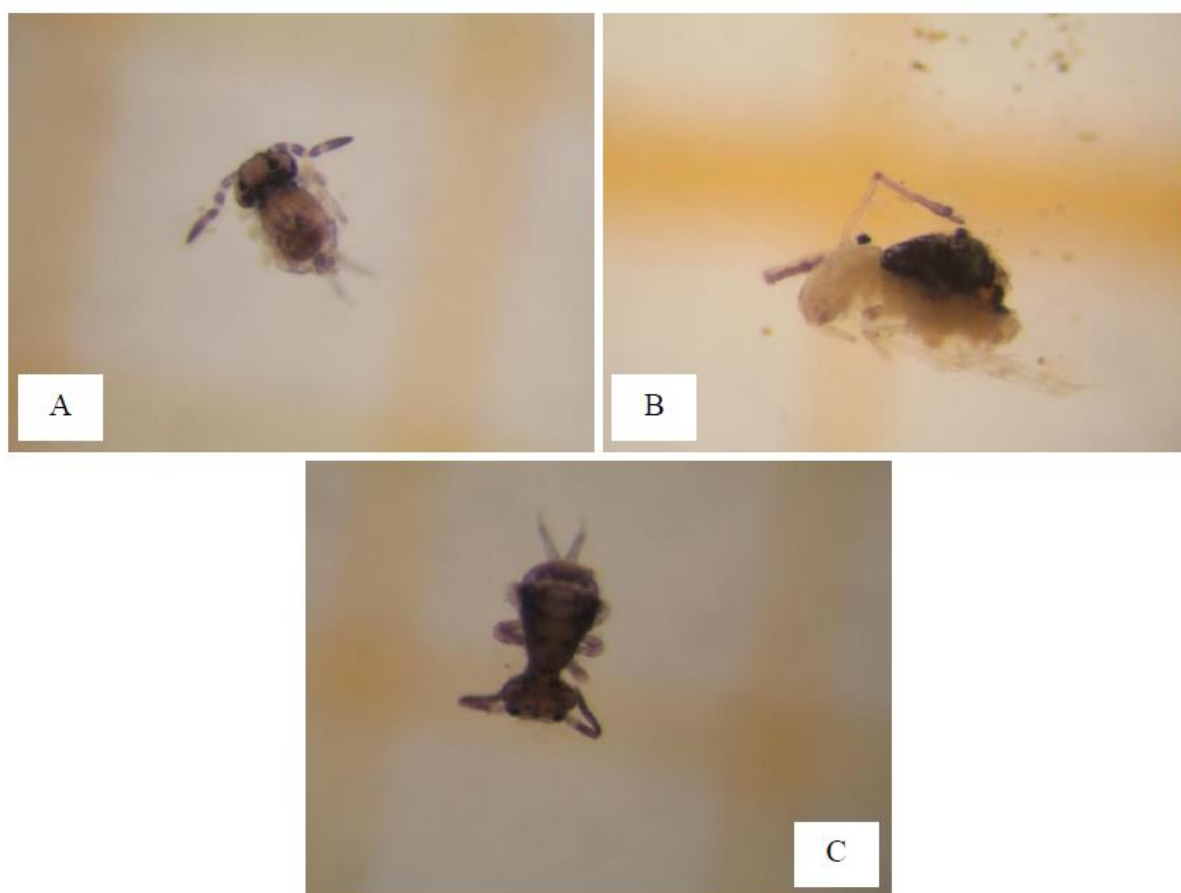
A identificação das subordens de Collembola em morfoespécies permitiu caracterizar sete morfoespécies de Entomobryomorpha (Figura 15), sete de Poduromorpha (Figura 16) e três de Symphypleona (Figura 17).



**Figura 15.** Morfoespécies de Entomobryomorpha encontrados nos fragmentos florestais avaliados. Itaboraí, Rio de Janeiro. 2012 (Fotos: Rafael N. Scoriza).



**Figura 16.** Morfoespécies de Poduomorpha encontrados nos fragmentos florestais avaliados. Itaboraí, Rio de Janeiro. 2012 (Fotos: Rafael N. Scoriza).

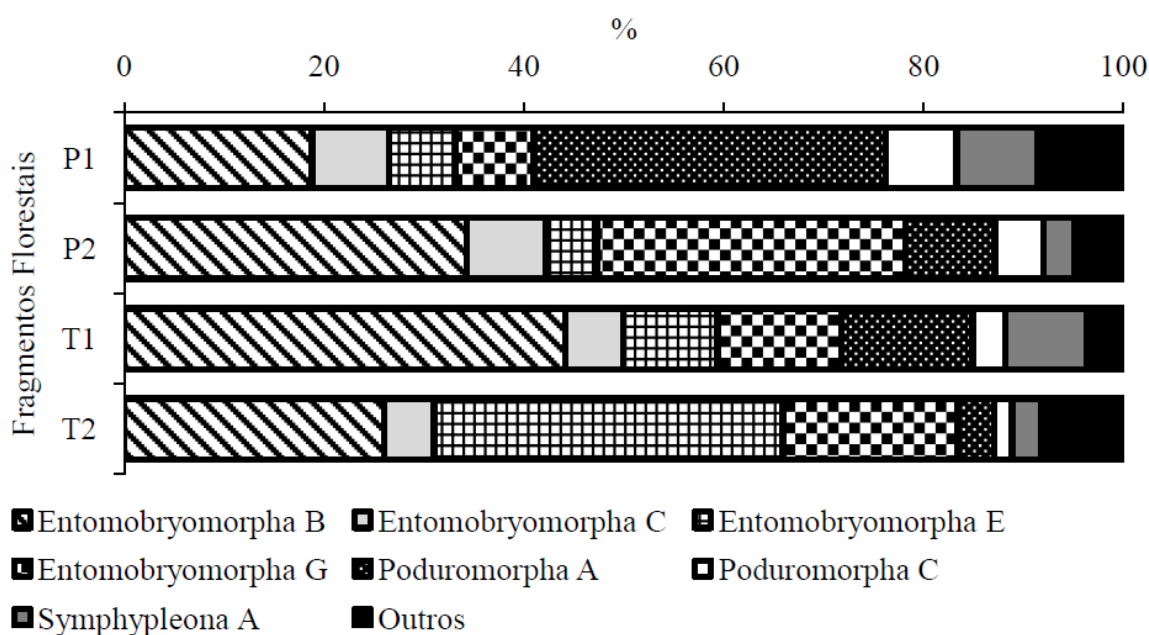


**Figura 17.** Morfoespécies de *Symphypleona* encontrados nos fragmentos florestais avaliados. Itaboraí, Rio de Janeiro. 2012 (Fotos: Rafael N. Scoriza).

Entre os fragmentos florestais, no fragmento P1 houve a maior riqueza média de morfoespécies, sendo no fragmento P2 a menor, como mostrado na Tabela 7. Os índices de Pielou e Shannon revelam que mesmo apresentando a maior riqueza média, no fragmento P1, houve distribuição mais homogênea da quantidade de indivíduos entre os grupos, não havendo predominância do número de indivíduos de um determinado grupo, como pode ser melhor visualizado na Figura 18. Este resultado pode estar associado ao melhor grau de conservação deste fragmento florestal em relação aos outros, permitindo assim a diferenciação dos fragmentos. Não houve diferenças entre os terços dos fragmentos em relação às morfoespécies.

**Tabela 7.** Riqueza total e média e os índices de Shannon e de Pielou das morfoespécies de *Collembola* nos fragmentos florestais na época seca. Letras iguais não diferem segundo o teste t (Bonferroni) a 5%.

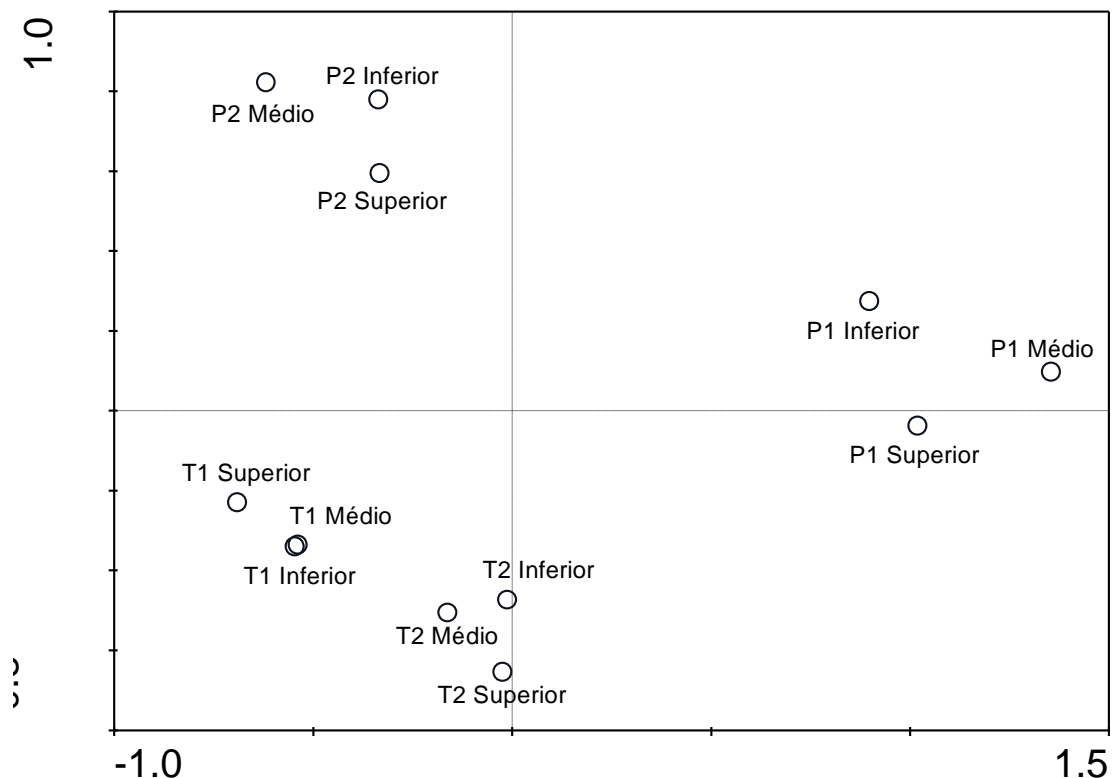
Fragmento Florestal	Riqueza Total	Riqueza Média	Shannon	Pielou
P1	15	9,1a	2,90	0,74
P2	13	6,9b	2,56	0,69
T1	15	8,4ab	2,54	0,65
T2	15	8,2ab	2,63	0,67



**Figura 18.** Representatividade das principais morfoespécies de Collembola nos fragmentos florestais, na época seca. E.B = Entomobryomorpha morfoespécie B; P.A = Poduromorpha morfoespécie A; S.A = Symphypleona morfoespécie A.

#### 4.4 Análise dos Indicadores Ambientais

Para realizar a análise dos indicadores, considerou-se que os indicadores ambientais devem retratar o estado do ambiente de forma clara e simples, através da agregação de dados. Assim, para se realizar a análise do indicador ambiental, deve-se obter informações do ambiente, que estão direta ou indiretamente relacionados com o indicador em questão. Neste caso a análise foi realizada através da semelhança entre terços dos fragmentos de estudo. Para isso realizou-se uma análise de componentes principais utilizando os dados de vegetação (número de espécies, dominância, indivíduos.ha<sup>-1</sup>, número de indivíduos, grau sucessional), formação geomorfológica (proterozóico ou terciário), física e química do solo (tipo de solo, pH, densidade e porosidade), declividade da área e tamanho do fragmento. Com resultado da análise foi possível gerar a Figura 19.



**Figura 19.** Diagrama de ordenação resultante da análise de componentes principais, utilizando-se algumas variáveis de paisagem, vegetação e solos das áreas de estudo. Eixo x: 38,4%, Eixo y: 30,7%.

Através da análise de componentes principais pôde-se constatar a formação de três agrupamentos, sendo um formado pelos terços do fragmento P1, outro pelos terços do fragmento P2 e um terceiro formado pelos terços dos fragmentos T1 e T2. Assim, nota-se que há uma grande semelhança entre os fragmentos T1 e T2 e que os fragmentos P1 e P2 são diferentes entre si e dos outros. Além disto, destaca-se a semelhança entre os terços do mesmo fragmento.

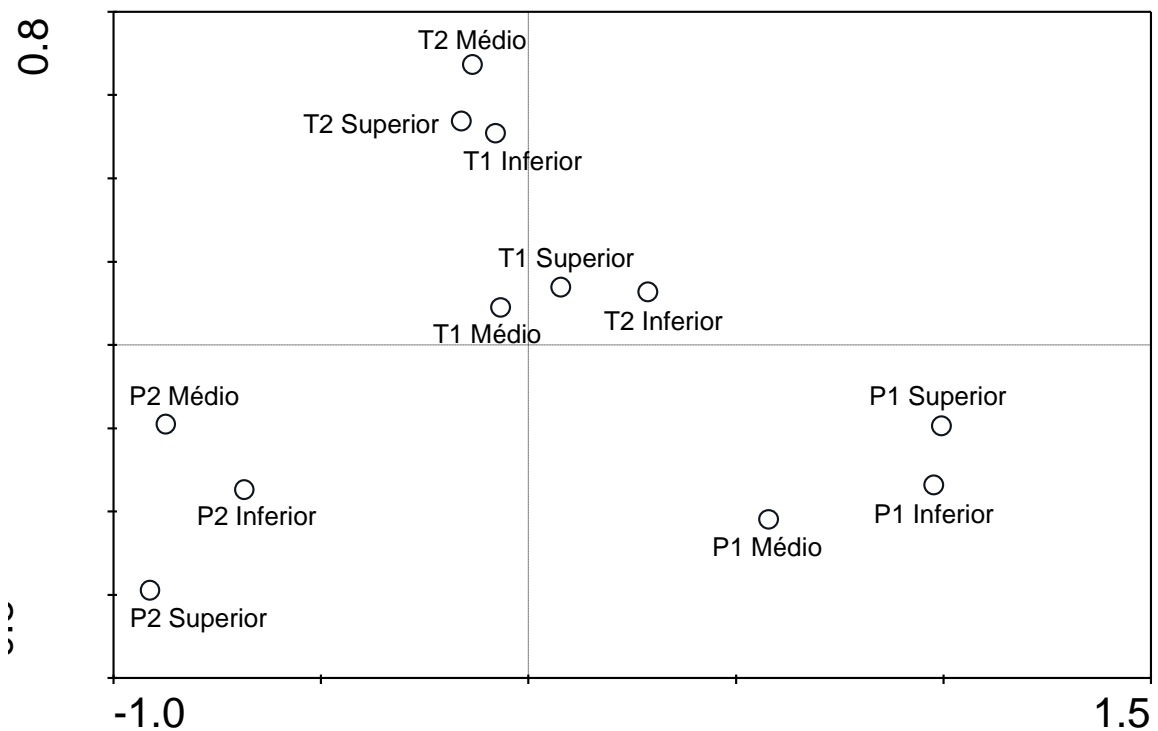
#### 4.4.1 Estoque de serrapilheira

A serrapilheira como indicador ambiental já foi aplicada e discutida por outros autores, como exposto a seguir. Gondim (2005) em sua dissertação de mestrado utilizou o aporte de serrapilheira e a chuva de sementes como bioindicadores de recuperação ambiental. Para o autor este parâmetro não foi eficiente como indicador de degradação, pois apresentou grande variação nos primeiros anos de isolamento da área. Freire (2006) considerou que a serrapilheira é influenciada por muitos fatores, tornando seus dados imprecisos e de difícil interpretação, não sendo ideal como indicador ambiental. Já Machado et al. (2008), constaram que a serrapilheira é eficiente como indicador ambiental, quando usada na comparação entre áreas de diferentes formações vegetais.

O resultado da análise do peso da matéria seca da serrapilheira estocada revelou alguma diferença entre os fragmentos florestais, na época seca, quando se utilizam as

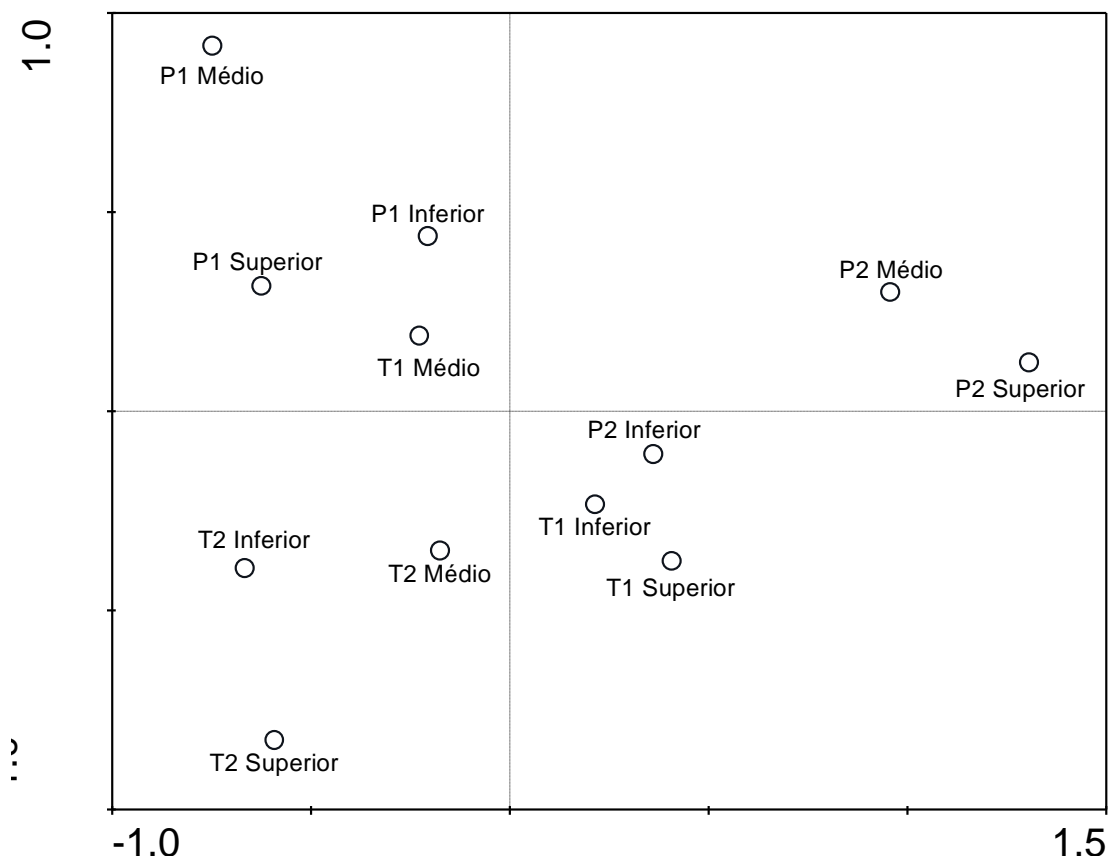
informações da fração restos e a quantidade total. Na época úmida as frações ramos e cascas, restos e a quantidade total de serrapilheira também mostraram diferenças entre os fragmentos florestais. Porém estas diferenças encontradas não foram as esperadas. Além disso, somente a fração restos foi eficiente em detectar diferenças entre as épocas do ano.

Na análise da concentração de macronutrientes e carbono nas frações da serrapilheira estocada, encontraram-se diferenças entre os fragmentos florestais, porém estas foram imprecisas. Porém, a partir da análise de componentes principais, reunindo todas estas informações do estoque de serrapilheira, pôde-se gerar as Figura 20 e Figura 21.



**Figura 20.** Diagrama de ordenação resultante da análise de componentes principais, utilizando-se o peso e concentração de macronutrientes das frações da época seca. Eixo x: 37,4%, Eixo y: 15,6%.

A representação do resultado da análise de componentes principais da época seca permite visualizar a formação de grupos semelhantes aos da Figura 19, sendo um grupo formado pelos terços do fragmento P1, outro grupo formado pelos terços do fragmento P2 e um terceiro grupo formado pelos terços dos fragmentos T1 e T2. Além disso esta análise destacou diferenças entre os fragmentos P1 e P2. A figura gerada a partir da análise de componentes principais da época úmida não permitiu a visualização de grupos definidos. Assim podemos destacar a relevância do estoque de serrapilheira como indicador ambiental quando se utiliza as informações da fração restos (por ter demonstrado alguma diferença entre os fragmentos e as épocas) e o conjunto de informações (peso da matéria seca das frações e teores de macronutrientes) da época seca.



**Figura 21.** Diagrama de ordenação resultante da análise de componentes principais, utilizando-se o peso e concentração de macronutrientes das frações da época úmida. Eixo x: 40,3%, Eixo y: 20,4%.

#### 4.4.2 Comunidade de Fungos Micorrízicos Arbusculares e Collembola

Alguns estudos utilizaram os FMAs para diferenciar áreas de diferentes tipos e conservação da vegetação. Caproni et al. (2003) avaliando áreas de mineração revegetadas, de diferentes idades, não pôde diferenciá-las utilizando a densidade de esporos e o número de espécies de FMAs. Silva et al. (2006) avaliando quatro diferentes usos do solo, pôde diferenciá-las através do número de esporos, porém não houve um padrão em relação às épocas do ano. Silva et al. (2008) ao caracterizarem a comunidade de esporos de fungos micorrízicos em cinco diferentes áreas, observaram um agrupamento entre áreas de usos do solo semelhantes.

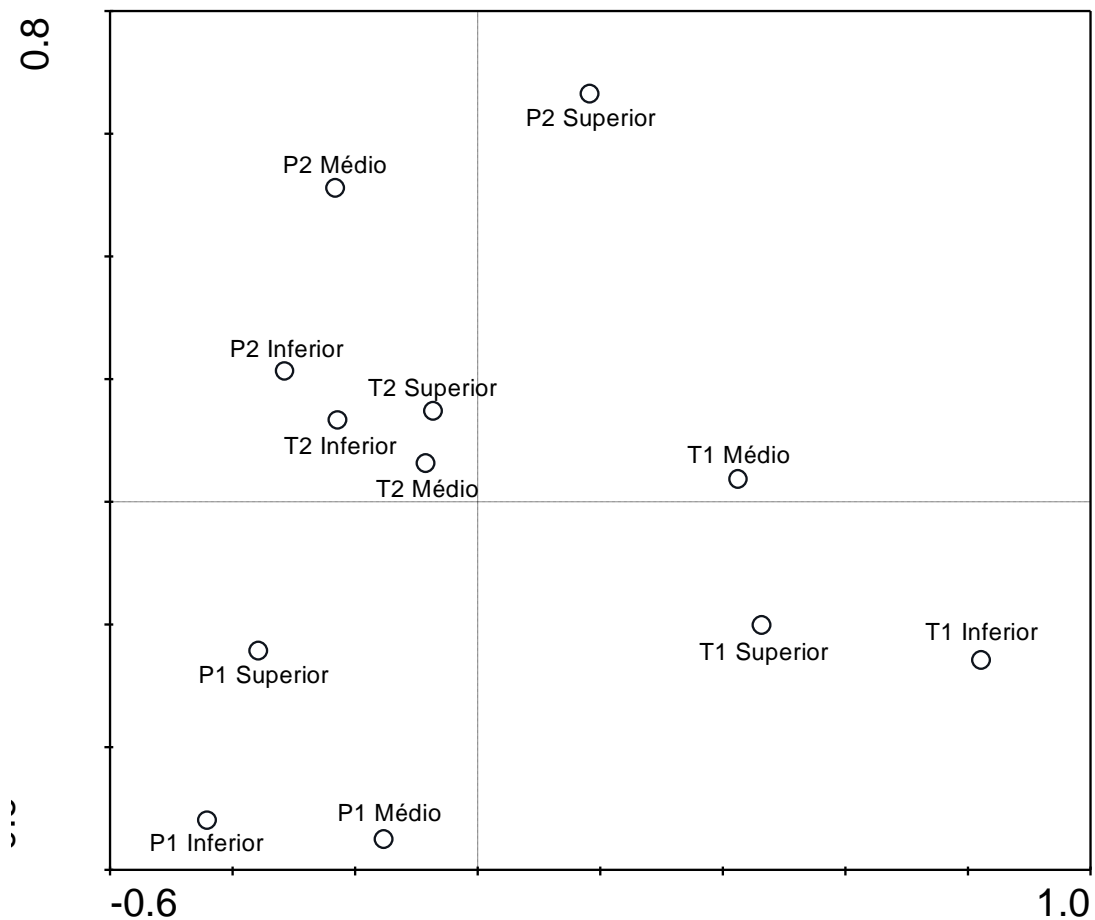
Neste estudo, a densidade de esporos foi capaz de discriminar o fragmento P1, na época seca, assim como o fragmento P2 na época úmida. Além disso, demonstrou uma nítida diferença entre as épocas do ano. A ocorrência de espécies de FMAs também foi um fator de diferenciação entre as áreas, principalmente na época seca, tendo o fragmento P1 o maior número de espécies, o P2 a menor e os fragmentos T1 e T2 com números intermediários e semelhantes.



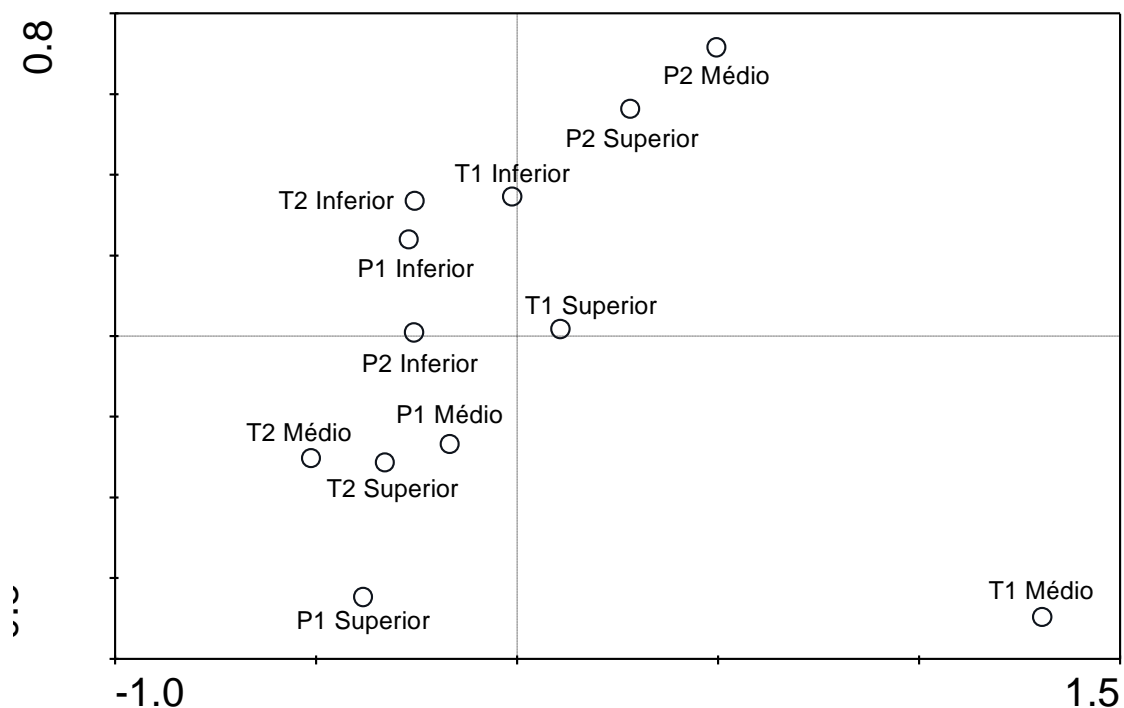
Segundo Rusek (1998) a densidade e biodiversidade de Collembola é, em alguns ecossistemas, fortemente afetada por atividades humanas. Sendo assim confirmam sua importância como bioindicador de áreas degradadas, sendo sensíveis para diferenciar estágios sucessionais (ZEPPELINI et al., 2009).

A análise dos dados permitiu constatar diferenças marcantes entre as épocas do ano, principalmente para Poduromorpha e Symphypleona. Além disso, através da atividade dos grupos, foi possível diferenciar os fragmentos florestais.

O resultado gráfico da análise de componentes principais de FMA e Collembola, feita de forma separada, não permitiu visualizar nenhuma diferenciação entre os fragmentos. Porém quando foram considerados juntos, agregando-se informações de densidade de esporos, espécies de fungos, atividade das subordens, ocorrência das morfoespécies de Collembola da época seca, gerou-se a Figura 22 a partir do resultado da análise de componentes principais. Esta mesma análise dos dados da época úmida não permitiu a diferenciação dos fragmentos analisados (Figura 23).



**Figura 22.** Diagrama de ordenação resultante da análise de componentes principais, utilizando-se dados de Collembola e FMA na época seca. Eixo x: 13,9%, Eixo y: 12,8%.



**Figura 23.** Diagrama de ordenação resultante da análise de componentes principais, utilizando-se dados de Collembola e FMA na época úmida. Eixo x: 23,3%, Eixo y: 19,1%.

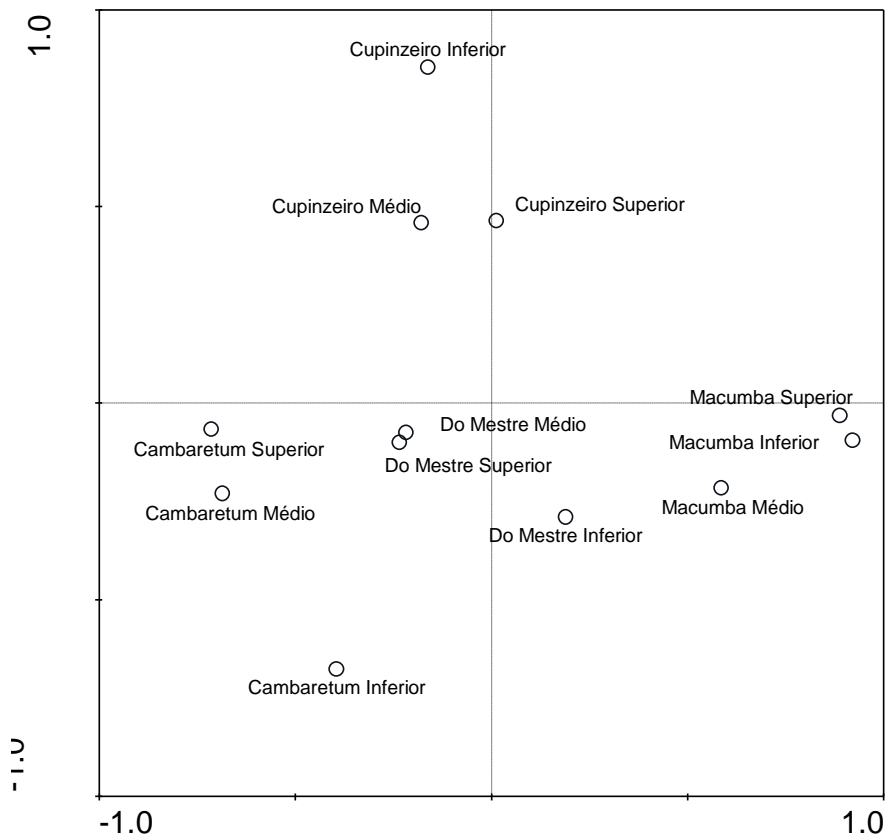
Na Figura 22 é clara a diferenciação visual dos fragmentos T1 e P1 entre eles e os demais, e a proximidade dos fragmentos T2 e P2. Assim como na Figura 19 destacou-se a semelhanças entre os terços dos mesmos fragmentos e a diferenciação do fragmento P1 em relação aos demais fragmentos. A avaliação do resultado desta análise permite constatar a importância da avaliação conjunta dos dados, sendo neste caso, dos organismos do solo que ocupam diferentes estratos e funções no ecossistema. Além disto, a não diferenciação entre os fragmentos florestais, a partir do resultado da análise dos componentes principais na época úmida, nos permite inferir que somente sob condições de estresse (possivelmente hídrico) os organismos analisados são capazes de revelar que os processos que ocorrem em cada fragmento são diferentes, sendo esta visível somente na época seca.

#### 4.4.3 Conjunto de Indicadores

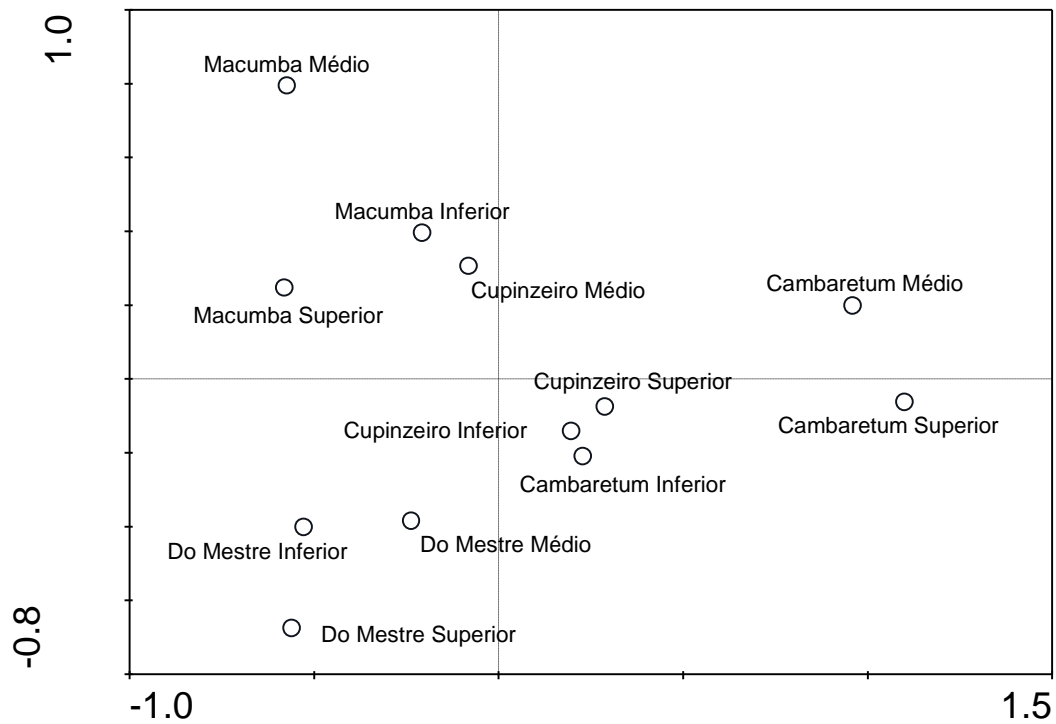
Assim como citado por diversos autores no tópico “Indicadores ambientais e serviços ecossistêmicos da biodiversidade” da revisão da literatura, os indicadores ambientais são formado pela agregação de dados, sendo que, quanto maior a diversidade do tipo de dados, mais ampla e concisa é sua caracterização.

A partir do resultado da análise dos componentes principais dos dados de estoque de serrapilheira, fungos micorrízicos arbusculares e Collembola, nas épocas seca e úmida, foi possível gerar a Figura 24 e Figura 25. Na época seca é possível visualizar a formação de grupos entre os terços dos mesmos fragmentos florestais. Porém, diferente da Figura 19, os

terços dos fragmentos T1 e T2 não estão agrupadas. Na época úmida apenas os terços destes fragmentos formaram agrupamentos, sendo estes próximos.



**Figura 24.** Diagrama de ordenação resultante da análise de componentes principais, utilizando-se o peso e macronutrientes do estoque de serrapilheira, densidade de esporos e ocorrência de espécies de FMAs e atividade dos subordens de Collembola na época seca. Eixo x: 27,6%, Eixo y: 15,2%.



**Figura 25.** Diagrama de ordenação resultante da análise de componentes principais, utilizando-se o peso e macronutrientes do estoque de serrapilheira, densidade de esporos e ocorrência de espécies de FMAs e atividade dos subordens de Collembola na época úmida. Eixo x: 31,2%, Eixo y: 15,5%.

## 5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, chegou-se às seguintes conclusões:

- Não foram observadas diferenças entre os terços de cada fragmento, com base nos indicadores avaliados neste estudo.
- A serrapilheira mostrou-se um indicador chave neste estudo, pois foi capaz de evidenciar diferenças entre os fragmentos florestais.
- O estoque de serrapilheira determinou padrões de ocorrência dos FMAs e dos Collembola.
- Embora nenhum dos fragmentos apresente-se em um estágio sucessional avançado, percebe-se diferenças entre os mesmos. Com base no conjunto de indicadores avaliados, pode-se sugerir um gradiente de conservação, em que o fragmento Proterozóico 1 apresenta-se mais conservado, seguido pelos fragmentos Terciário 2, Terciário 1 e Proterozóico 2.
- Os compartimentos geomorfológicos proterozóico e terciário contribuem pouco como fatores de discriminação entre os fragmentos florestais, sendo as variáveis de vegetação mais importantes nesta separação.
- As diferenças entre os fragmentos para os diferentes indicadores são mais consistentemente verificadas na época seca. Isto sugere, que é no momento de estresse hídrico, que a estrutura e funcionamento dos fragmentos proporciona diferentes graus de resistência a esta condição.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIDAR, M. P. M.; CARRENHO, R.; JOLY, C. A. Aspects of arbuscular mycorrhizal fungi in an atlantic forest chronosequence Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), SP. **Biota Neotropica**, v. 4, n. 2, 2004.
- ALARCÓN, A.; FERRERA-CERRATO, R. Manejo de la micorriza arbuscular em los sistemas de propagación de plantas frutícolas. **Terra**, v. 17, p. 179-192, 1999.
- ALFSEN, K. H.; SAEBO, H. V. Environmental quality indicators: background, principles and examples from Norway. **Environmental Resource Economics**, n. 6, v. 3, p. 415-435, 1993.
- ALLEN, M. F. **The ecology of mycorrhizae**. Cambridge University Press, Cambridge, 1991.
- AQUINO, A. M.; AGUIAR-MENEZES, E. L.; QUEIROZ, J. M. **Recomendações para Coleta de Artrópodos Terrestres por Armadilhas de Queda (Pitfall – Traps)**. Circular Técnica: Embrapa Agrobiologia, Seropédica, 2006.
- ARAÚJO, R. S.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; MACHADO, M. R.; PEREIRA, M. G.; FRAZÃO, F. J. Aporte de serrapilheira e nutrientes ao solo em três modelos de revegetação na Reserva Biológica de Poços das Antas, Silva Jardim, RJ. **Floresta e Ambiente**, v. 12, n. 2, p. 15-21, 2006.
- ARBEA, J. I.; BASCO-ZUMETA, J. Ecologia de los Colembolos (Hexapoda, Collembola) em Los Monegros (Zaragoza, España). **Aracnet**, n. 28, v. 7, p. 35-48, 2001.
- AUGÉ, R. M.; STODOLA, A. J. W.; TIMS, J. E.; SAXTON, A. M. Moisture retention properties of a mycorrhizal soil. **Plant and Soil**, v. 230, p. 87-97, 2001.
- BARETTA, D.; FERREIRA, C. S.; SOUSA, J. P.; CARDOSO, E. J. B. N. Colêmbolos (Hexapoda: Collembola) como bioindicadores de qualidade do solo em áreas com Araucaria angustifolia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 32, p. 2693-2699, 2008.
- BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; SEGAT, J. C.; GEREMIA, E. V.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; ALVES, M. V. Fauna edáfica e qualidade do solo. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. (Eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 7. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. p. 141-192.
- BARNES, B. V.; ZAK, D. R.; DENTON, S. R.; SPURR, S. H. **Forest Ecology**. Oxford: John Wiley & Sons, 1997.
- BELLO, F.; LAVOREL, S.; DÍAZ, S.; HARRINGTON, R.; CORNELISSEN, J. H. C.; BARDGETT, R. D.; BERG, M. P.; CIPRIOTTI, P.; FELD, C. K.; HERING, D.; SILVA, P. M.; POTTS, S. G.; SANDIN, L. SOUSA, J. P.; STORKEY, J.; WARDLE, D. A.; HARRISON, P. A. Towards an assessment of multiple ecosystem processes and services via functional traits. **Biodivers. Conserv.**, v. 19, p. 2873-2893, 2010.
- BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. M. A. C. Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. In: FERNANDES, M. S. (Eds.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 53-85.

BILDE, T. AXELSEN, J. A.; TOFT, S. The value of Collembola from agricultural soils as food for a generalist predator. **Journal of Applied Ecology**, n. 37, p. 672-683, 2000.

BOYD, J.; BANZHAF, S. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. **Ecological economics**, v. 63, p. 616-626, 2007.

BORÉM, R. A. T.; RAMOS, D. P. Variação estacional e topográfica de nutrientes na serapilheira de um fragmento de mata atlântica. **Cerne**, v. 8, n. 2, p. 42-59, 2002.

BRUN, E. J.; SCHUMACHER, M. V.; SPATHELF, P. Relação entre a produção de serrapilheira e variáveis meteorológicas em três fases sucessionais de uma floresta estacional decidual no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 2, p. 277-285, 2001.

BRUNDRETT, M. Identifying mycorrhizal associations. In: BRUNDRETT, M.; MELVILLE, L.; PETERSON, L. (Eds.). **Practical methods in mycorrhizal research**. Guelph: University of Guelph, 1994, p. 62-66.

CALDEIRA, M. V. W.; MARQUES, R.; SOARES, R. V. BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes – Floresta Ombrófila Mista Montana – Paraná. **Rev. Acad., Curitiba**, v. 5, n. 2, p. 101-116, 2007.

CALDEIRA, M. V. W.; VITORINO, M. D.; SCHAADT, S. S.; MORAES, E.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 1, p. 53-68, 2008.

CAPRONI, A. L.; FRANCO, A. A.; BERBARA, R. L. L.; TRUFEM, S. B.; GRANHA, J. R. D. O.; MONTEIRO, A. B. Ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares em áreas revegetadas após mineração de bauxita em Porto Trombetas, Pará. **Pesq. Agropec. Bras., Brasília**, v. 38, n. 12, p. 1409-1418, 2003.

CARDOSO, E. J. B. N.; CARDOSO, I. M.; NOGUEIRA, M. A.; BARETTA, C. R. D. M.; PAULA, M. A. Micorrizas Arbusculares na aquisição de nutrientes pelas plantas. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M (Eds.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. p. 15-74.

CERQUEIRA, R.; BRANT, A.; NASCIMENTO, M. T.; PARDINI, R. Fragmentação: Alguns Conceitos. In: RAMBALDI, D. M.; OLIVEIRA, D. A, S. (Orgs.). **Fragmentação de Ecossistemas: causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas**. Brasília: MMA/SFB, 2003. p. 23-42.

CHAMBERS, J. C.; MACMAHON, J. A. A day in the life of a seed: movements and fates of seeds and their implications for natural and managed systems. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 25, p. 263-292, 1994.

COLLI, G. R.; ACCACIO, G. M.; ANTONINI, Y.; CONSTANTINO, R.; FRANCESCHINELLI, E. V.; LAPS, R. R.; SCARIOT, A.; VIEIRA, M. V.; WIEDERHECKER, H. C. A fragmentação dos ecossistemas e a biodiversidade brasileira: uma síntese. In: RAMBALDI, D. M.; OLIVEIRA, D. A, S. (Orgs.). **Fragmentação de**

**Ecosistemas: causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas.** Brasília: MMA/SFB, 2003. p. 317-324.

CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecosistemas tropicais & subtropicais.** 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 137-158.

COSTA, C. C. A.; CAMACHO, R. G. V.; MACEDO, I. D.; SILVA, P. C. M. Análise comparativa da produção de serapilheira em fragmentos arbóreos e arbustivos em área de Caatinga na Flona de Açú-RN. **Revista Árvore**, v. 34, n. 2, p. 259-265, 2010.

COSTA, M. D.; LOVATO, P. E. Micorrizas arbusculares e a supressão de patógenos. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A.L.; GATIBONI, L.C. (Eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 7. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. p. 119-140

DALE, V. H.; BEYELER, S. C. Challenges in the development and use of ecological indicators. **Ecological Indicators**, v.1, p. 3-10, 2001.

DAILY, G. C. What are ecosystem services? In: **Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems.** Daily, G. C. (Ed.). Washington, DC: Island, 1997. p. 1-10.

DÍAZ-MORENO, A. B. Possibilidades metodológicas de aplicación de indicadores ambientales a nível municipal. **Revista de estudos ambientais**, v. 1, n. 1, p. 77-95, 1999.

DIAS, H. C. T.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. Variação temporal e espacial da produção de serapilheira em uma área de floresta estacional semidecídua montana em Lavras-MG. **Revista Árvore**, v. 21, n. 1, p. 11-26, 1997.

DONNELLY, A.; JONES, M.; O'MAHONY, T.; BYRNE, G. Selecting environmental indicator for use in strategic environmental assessment. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 27, p. 167-175, 2007.

EISENHAUER, N.; SABAIS, A. C. W.; SCHEU, S. Collembola species composition and diversity effects on ecosystem functioning vary with plant functional group identity. **Soil Biology & Biochemistry**, n. 43, p. 1697-1704, 2011.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMBRAPA. **Manual de laboratórios: solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos.** NOGUEIRA, A. R. A.; SOUZA, G. B. (Eds.). São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. p. 139-190.

EMBRAPA. **Corredor ecológico do COMPERJ:** um caminho verde para o COMPERJ. Rio de Janeiro: Ecce Design S/C Ltda, 2007. 39 p.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **Environmental Indicators: Typology and Use in Reporting.** EEA internal working paper, 2003.



EWEL, J. J. Litter fall and leaf decomposition in a tropical forest succession in eastern Guatemala. **Journal of Ecology**, v. 64, p. 293-308, 1976.

FELD, C. K.; SOUSA, J. P.; SILVA, P. M. DAWSON, T. P. Indicators for biodiversity and ecosystem services: towards an improved framework for ecosystems assessment. **Biodivers Conserv.**, v. 19, p. 2895-2919, 2010.

FERNANDES, M. M.; MAGALHÃES, L. M. S.; PEREIRA, M. G.; CORREIA, M. E. F.; BRITO, R. J.; MOURA, M. R. Influência de diferentes coberturas florestais na fauna do solo na Flona Mário Xavier, no município de Seropédica, RJ. **Floresta**, v. 41, n. 3, p. 533-540, 2011.

FIGUEIREDO FILHO, A.; FERREIRA, G. M.; BUDANT, L. S.; FIGUEIREDO, D. J. Avaliação estacional da deposição da serrapilheira em uma Floresta Ombrófila Mista localizada no sul do Estado do Paraná. **Ciência Florestal**, v. 13, n. 1, p. 11-18, 2003.

FOUNTAIN, M. T.; HOPKIN, S. P. Biodiversity of Collembola in urban soils and the use of *Folsomia candida* to assess soil 'quality'. **Ecotoxicology**, v. 13, p. 555-572, 2004.

FREIRE, M. **Chuva de semente, banco de semente e deposição de serrapilheira como bioindicadores ambientais**. 2006. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Ciências Ambientais e Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006.

GARAY, I.; KINDEL, A. Diversidade funcional em fragmentos de Floresta Atlântica. Valor indicador das formas de húmus florestais. In: GARAY, I.; DIAS, B. (Orgs.). **Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais: avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento**. Petrópolis: Vozes, 2001. p. 350-368.

GARCIA, P. C. M.; MACEDO, M. O.; RESENDE, A. S.; CAMPELLO, E. F. C.; FRANCO, A.A. Estoque e distribuição da serrapilheira em diferentes sistemas florestais. **Rev. Univ. Rural, Sér. Ci. Vida**, v. 25, n. 1, p. 12-17, 2005.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet-sieving and decanting. **Transactions of British Mycological Society**, Cambridge, v. 46, p. 235-244, 1963.

GIANINAZZI-PEARSON, V.; GIANINAZZI, S. The physiology of vesicular-arbuscular mycorrhizal roots. **Plant Soil**, v. 71, p. 197-209, 1983.

GILSER, C. V. T. **O uso da serrapilheira na recomposição vegetal em áreas mineradas de bauxita, Poços de Caldas, MG**. 1995. 147 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 1995.

GIRARDIN, P.; BOCKSTALLER, C.; VAN DER WELF, H. M. G. Indicators: tools to evaluate the environmental impacts of farming systems. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 13, p. 5-12, 1999.

GONÇALVES, A. O. Monitoramento dos parâmetros agrometeorológicos. **In: Relatório Corredor ecológico do Comperj**. 2010.

GONDIM, F. R. **Aporte de serrapilheira e chuva de sementes como bioindicadores de recuperação ambiental em fragmentos de Floresta Atlântica**. 2005. 85 f. Dissertação (Mestrado em Conservação da Natureza) - Ciências Ambientais e Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

GROOT, R. S.; WILSON, M. A.; BOUMANS, R. M. J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological Economics**, v. 41, p. 393-408, 2002.

GREENSLADE, P. Collembola. In: **Insects of Australia**. 2<sup>a</sup> Ed. Melbourne University Press, 1991. p. 252-268.

HAAG, H. P. **Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais**. Campinas: Fundação Cargil, 1985, 114p.

HANSEN, J. W. Is agricultural sustainability a useful concept? **Agricultural Systems**, v. 35, p. 265-285, 1996.

HAYMAN, D. S. The physiology of vesicular-arbuscular endomycorrhizal symbiosis. **Can. J. Bot.** v. 61, p. 944-963, 1983.

HETRICK, B. A. D, HARTNETT D. C., WILSON, G.W. T, GIBSON, D. J. Effects of mycorrhizae, phosphorus availability, and plant density on yield relationships among competing tallgrass prairie grasses. **Can. J. Bot.**, v. 72, p. 168-176, 1993.

HOPKIN, S. P. **Biology of the Springtails** (Insecta: Collembola). New York: Oxford University Press, 1997.

INPE & SOS MATA ATLÂNTICA. Remanescentes florestais da Mata Atlântica – ano base 2010. Disponível em: <<http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/remanescentesMT2010.pdf>>. Acesso em 05/06/2010.

INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA. **Programa de Meio Ambiente 1995-2000**. México D. F.: Dirección General de Gestión e Información Ambiental, 1997.

JANOS, D. P. Mycorrhiza applications in tropical forestry are temperate-zone approaches appropriate? In: NG, F. S. P. (Ed.). **Trees and mycorrhiza**. Kuala Lumpur: Forest Research Institute, 1988. p. 133-188.

JANOS, D. P. Vesicular-arbuscular mycorrhizae affect lowland tropical rain forest plant growth. **Ecology**, v. 61, n. 1, p. 151-162, 1980.

JEFFERY, S.; GARDI, C.; JONES, A.; MONTANARELLA, L.; MARMO, L.; MIKO, L.; RITZ, K.; PERES, G.; ROMBKE, J.; VAN DER PUTTEN, W. H. **European atlas of soil biodiversity**. European Union, 2010. p. 104-105.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Report**, Beltsville, v. 28, p. 692, 1964.

JASTROW, J. D.; MILLER, R. M.; LUSSENHOP, J. Contributions of interacting biological mechanisms to soil aggregate stabilization in restored prairie. **Soil Biol. Biochem.**, n. 30, p. 905-916, 1998.

LACLAU, J. P.; TOUTAIN, F.; M'BOU, A. T.; ARNAUD, M.; JOFFRE, R.; RANGER, J. The function of the superficial root mat in the biogeochemical cycles of nutrients in Congolese Eucalyptus plantations. **Annals of Botany**, v. 93, p. 249-261, 2004.

LAUGA-REYREL, F.; DECONCHAT, M. Diversity within the collembola community in fragmented coppice forests in south-western France. **European Journal of Soil Biology**, n. 35, p. 177-187, 1999.

LEITÃO-FILHO, H. F.; PAGANO, S. N.; CESAR, O.; TIMONI, J. L.; RUEDA, J. J. **Ecologia da Mata Atlântica em Cubatão**. Editora da Universidade Estadual Paulista & Editora da Universidade Estadual de Campinas: São Paulo & Campinas, 1993.

LEPS, J.; SMILAUER, P. **Multivariate analysis of ecological data using Canoco**. Cambridge University Press, Cambridge. 2003. 282 p.

LIMA, J. S. O Biomonitoramento como ferramenta complementar na avaliação de impactos ambientais – Discutindo conceitos. **TecHoje**, Salvador, Jun, 2000. Disponível em:<[http://www.ietec.com.br:8080/ietec/techoje/materias\\_tec/meioambiente/tecnologias/dtml\\_materia\\_materia?id=http://www.ietec.com.br:8080/ietec/techoje/techoje/meioambiente/2003/01/24/2003\\_01\\_24\\_0007.2xt](http://www.ietec.com.br:8080/ietec/techoje/materias_tec/meioambiente/tecnologias/dtml_materia_materia?id=http://www.ietec.com.br:8080/ietec/techoje/techoje/meioambiente/2003/01/24/2003_01_24_0007.2xt)>. Acesso em: 25 nov. 2003.

LIMA, S. S.; LEITE, L. F. C.; AQUINO, A. M.; OLIVEIRA, F. C.; CASTRO, A. J. F. Serapilheira e teores de nutrientes em argissolo sob diferentes manejos no norte do Piauí. **Revista Árvore**, v. 34, n. 1, p. 75-84, 2010.

MACHADO, M. R.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; PEREIRA, M. G. Produção de serrapilheira como indicador de recuperação em plantio adensado de revegetação. **Revista Árvore**, v. 32, n. 1, p. 143-151, 2008.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego, Academic Press, 1995. 889p.

MILLER, R. M.; KLING, M. The importance of integration and scale in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Plant and Soil**, n. 226, p. 295-309, 2000.

MYERS, N. Environmental services of biodiversity. **Proc. Natl. Acad. Sci.** v. 93, p. 2764-2769, 1996.

MORAES, R. M.; DELITTI, W. B. C.; STRUFFALDI-DE VUONO, Y. Litterfall and litter nutrient content in two Brazilian Tropical Forests. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 22, n. 1, p. 9-16, 1999.

MOREIRA, F. M. S.; HUISING, E. J.; BIGNELL, D. E. **Manual de biologia dos solos tropicais: amostragem e caracterização da biodiversidade**. Lavras: UFLA, 2010.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2002. p. 473-577.

NIEMEIJER, D. Developing indicators for environmental policy: data-driven and theory-driven approaches examined by example. **Environmental Science & Policy**, v. 5, p. 91-103, 2002.

PINTO, C. B.; MARQUES, R. Aporte de nutrientes por frações da serapilheira em sucessão ecológica de um ecossistema da floresta atlântica. **Revista Floresta**, n. 33, v. 3, p. 257-264, 2003.

PRIMACK, R. B.; RODRIGUES, E. **Biologia da Conservação**. Londrina: E. Rodrigues, 2001.

POGGIANI, F. **Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações florestais de Eucalyptus e Pinus. Implicações Silviculturais**. 1985. 73p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1985.

PORTES, M. C. G. O.; KOEHLER, A.; GALVÃO, F. Variação sazonal da deposição de serrapilheira em uma floresta ombrófila densa altomontana no Morro do Anhangava - PR. **Revista Floresta**, v. 26, p. 3-10, 1996.

PURIN, S.; KLAUBERG FILHO, O. Glomalina: nova abordagem para entendermos a biologia dos fungos micorrízicos arbusculares. In: SIQUEIRA, J. O; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M (Eds.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. p. 503-524.

REIS, V. M.; ANDRADE, G.; FARIA, S. M.; SILVEIRA, A. P. D. Interações de fungos micorrízicos arbusculares com outros microrganismos do solo. In: SIQUEIRA, J. O; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M (Eds.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. p. 361-382.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M.; The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, p. 1141-1153, 2009.

RIEFF, G. G. **Monitoramento de ácaros e colêmbolos como potenciais indicadores biológicos de qualidade do solo**. 2010. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia, 2010.

RILLIG, M. C.; MAESTRE, F. T.; LAMIT, L. J. Microsite differences in fungal hyphal length, glomalin, and soil aggregate stability in semiarid Mediterranean steppes. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 35, p. 1257-1260, 2003.

RIVA, A. L. M.; FONSECA, L. F. L.; HASENCLEVER, L. **Instrumentos econômicos e financeiros para a conservação ambiental no Brasil: uma análise do estado da arte no Brasil e no Mato Grosso Desafios e Perspectivas**. Instituto Socioambiental, 2007.

RUSEK, J. Biodiversity of Collembola and their functional role in ecosystem. **Biodiversity and Conservation**, v. 7, p. 1207-1219, 1998.

SANTOS, R. **Produção de serrapilheira e decomposição foliar em um remanescente de Mata Atlântica, Orleans, SC**. 1997. 78 f. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 1997.

SANTOS, F. E. F.; CARRENHO, R. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em remanescente florestal impactado (Parque Cinquentenário – Maringá, Paraná, Brasil). **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, n. 2, p. 508-516. 2011.

SANTOS, S. L.; VÁLIO, I. F. M. Litter accumulation and its effect on seedling recruitment in a southeast Brazilian Tropical Forest. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 25, n. 1, p. 89-92, 2002.

SANCHES, L.; VALENTINI, C. M. A.; BIUDES, M. S.; NOGUEIRA, J. S. Dinâmica sazonal da produção e decomposição de serrapilheira em floresta tropical de transição. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v. 13, n. 2, p. 183-189, 2009.

SCHEER, M. B. Decomposição e liberação de nutrientes da serrapilheira foliar em um trecho de floresta ombrófila densa aluvial em regeneração, Guaraqueçaba (PR). **Floresta**, v. 38, n. 2, p. 253-266, 2008.

SCHENCK, N. C.; PEREZ, Y. **A manual of identification of vesicular–arbuscular mycorrhizal fungi**. 2 ed. Florida, Gainesville, 1988. 241p.

SELLE, G. L. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. **Biosci. J.**, v. 23, n. 4, p. 29-39, 2007.

SIEVERDING, E. Establishment and evaluation of VAM fungal germ plasm. In SIEVERDING, E (Org.). **Vesicular-arbuscular mycorrhiza management**. Eschoborn: GTZ, v. 7, 1991. p. 189-219.

SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; SILVA, E. M. R.; CORREIRA, M. E. F.; SAGGIN-JÚNIOR, O. J. Fungos micorrízicos arbusculares em áreas no entorno do Parque Estadual da Serra do Mar em Ubatuba (SP). **Caatinga**, v. 19, n. 1, p. 1-10, 2006.

SILVA, R. F.; ANTONIOLLI, Z. I.; ANDREAZZA, R.; KAMINSKI, J. Comunidade de fungos micorrízicos arbusculares em solo cultivado com eucalipto, pinus e campo nativo em solo arenoso, São Francisco de Assis, RS. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 3, p. 353-361, 2008.

SIQUEIRA, J. O. Micorrizas arbusculares. In: Araújo, R.S.; Hungria, M. (Eds.). **Microrganismos de importância agrícola**. Embrapa Brasília, 1994. p. 151-194.

SIQUEIRA, J. O.; SAGGIN JÚNIOR, O. J. Dependency on arbuscular mycorrhizal fungi and responsiveness of some Brazilian native woody species. **Mycorrhiza**, v. 11, p. 245-255, 2001.

SYLVIA, D. M.; JARSTFER, A. G. Sheared-root inocula of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **Applied and Environmental Microbiology**. v. 58, p. 229-232, 1992.

SOUZA, J. P.; GAMA, M. M.; FERREIRA, C. S. Effects of replacing oak-woods by eucalyptus on edaphic Collembola communities: does the size and type of plantation matter? **Acta Entomológica Ibérica e Macaronésica**, v. 1, p. 1-10, 2003.

SOUZA, V. C.; SILVA, R. A.; CARDOSO, G. D.; BARRETO, A. F. Estudos sobre fungos micorrízicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 612-618, 2006.

SOUZA, F. A.; STURMER, S. L.; CARRENHO, R.; TRUFEM, S. F. B. Classificação e taxonomia de fungos micorrízicos arbusculares e sua diversidade e ocorrência no Brasil. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M (Eds.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. p. 15-74.

STURMER, S. L.; KLAUBERG FILHO, O.; QUEIROZ, M. H.; MENDONÇA, M. M. Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in soils of early stages of a secondary succession of Atlantic Forest in South Brazil. **Acta Botânica Brasilica**, v. 20, n. 3, p. 513-521, 2006.

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. **Decomposition in Terrestrial Ecosystems**. Berkeley: University of California Press, 1979. p. 66-117.

TAYLOR, B. R.; PARKINSON, D.; PARSONS, W. F. J. Nitrogen and lignin content as predictors of litter decay rates: a microcosm test. **Ecology**, v. 70, p. 97-104, 1989.

TURETTA, A. P. D.; PRADO, R. B.; SCHULER, A. E. Serviços ambientais no Brasil: do conceito à prática. In: PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. (Eds.). **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 2010. p. 239-254.

VAN DER HEIJDEN, M. G. A.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A.; SANDERS, I. R. Different arbuscular mycorrhizal fungal species are potential determinants of plant community structure. **Ecology**, v. 79, n. 6, p. 2082-2091, 1998.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação Brasileira Adaptada a um Sistema Universal**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 1991.

VIANA, V.M.; TABANEZ, A.J.A. Biology and conservation of forest fragments in the Brazilian Atlântic mois forest. In: SCHELHAS, J.; GREENBERG, R. (Ed.). **Forest patches, tropical landscapes**. Washington, D.C.: Island Press, 1996. p.151-167.

WALZ, R. Development of Environmental Indicator Systems: Experience from Germany. **Environmental Management**, v. 25, n. 6, p. 613-623, 2000.

WARREN, C. E. **Biology and water pollution control**. In: SAUDERS, W. B. (Ed.), Philadelphia, p. 192-231, 1971.

WHATELY, M. **Serviços Ambientais: conhecer, valorizar e cuidar: subsídios para a proteção dos mananciais de São Paulo.** São Paulo: Instituto Socioambiental, 2008.

WRIGHT, S.F., UPADHYAYA, A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein from arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Sci.** v. 161, p. 575-586, 1996.

ZEPPELINI FILHO, D.; BELLINI, B. C. **Introdução ao estudo dos Collembola.** João Pessoa: Editora da UFPB, 2004.

ZEPPELINI, D.; BELLINI, B. C.; CREÃO-DUARTE, A. J.; HERNÁNDEZ, M. I. M. Collembola as bioindicators of restoration in mined sand dunes of Northeastern Brazil. **Biodivers. Conserv.**, n. 18, p. 1161-1170, 2009.